

# 山西地震 编辑委员会

主 编：欧阳承新

副 主 编：万 亮 李自红 宋美卿 张瑞芳（专职）

编辑委员：（按姓氏汉语拼音排序）

曹 筠 陈 石 董康义 冯希杰 高武平 韩晓明 胡玉良  
黄金刚 季灵运 贾建喜 蒋海昆 蒋晓山 雷建设 雷启云  
雷生学 李 斌 李 丽 李冬梅 李宏伟 梁 艳 刘瑞春  
罗 勇 吕 芳 马朝晖 邵志刚 史双双 宋美卿 万永革  
王跃杰 武艳强 解 滔 薛 艳 闫计明 晏 锐 杨 斌  
杨 静 殷伟伟 曾金艳 张 合 张亮娥 张仰辉 张郁山  
赵晓云 郑文俊 周克昌

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI  
THE BOARD OF EDITORS

EDITOR IN CHIEF: OUYANG Chengxin

ASSOCIATE EDITORS IN CHIEF: WAN Liang LI Zihong SONG Meiqing ZHANG Ruifang (specific duty)

BOARD MEMBERS: CAO Jun CHEN Shi DONG Kangyi FENG Xijie GAO Wuping HAN Xiaoming

HU Yuliang HUANG Jingang JI Lingyun JIA Jianxi JIANG Haikun

JIANG Xiaoshan LEI Jianshe LEI Qiyun LEI Shengxue LI Bin LI Li LI Dongmei

LI Hongwei LIANG Yan LIU Ruichun LUO Yong LV Fang MA Zhaohui

SHAO Zhigang SHI Shuangshuang SONG Meiqing WAN Yongge WANG Yuejie

WU Yanqiang XIE Tao XUE Yan YAN Jiming YAN Rui YANG Bin YANG Jing

YIN Weiwei ZENG Jinyan ZHANG He ZHANG Liange ZHANG Yanghui

ZHANG Yushan ZHAO Xiaoyun ZHENG Wenjun ZHOU Kechang

## 山西地震

SHANXI DIZHEN

EARTHQUAKE RESEARCH

IN SHANXI

季刊 Quarterly

1973年2月创刊

Established in February, 1973

2024年第3期（总第199期）

No.3 (Serial No.199) 2024

商标注册号：327496

Number of Trade Mark Registra-

tion: 327496

主管单位：山西省地震局

主办单位：山西省地震学会

编辑出版：《山西地震》编辑部

主 编：欧阳承新

编辑部地址：山西省太原市晋祠路

二段69号

邮政编码：030021

电 话：(0351) 5610534

印 刷：山西省建筑科学研究院

印刷科技有限公司

地 址：太原市山佑巷

发行范围：公开

发行订购：《山西地震》编辑部

网 址：<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>

电子信箱：[sxdzjbj@163.com](mailto:sxdzjbj@163.com)

出版日期：2024年9月

Administration: Shanxi Earthquake Agency

Sponsoring Organization: Seismological Society of Shanxi Province

Edited and Published: by the Editorial Office of ERS

Editor in Chief: OUYANG Chengxin

Address of The Editorial Office:  
No. 69, Block 2 of Jinci Road, Taiyuan.

Postcode: 030021

Tel: (0351) 5610534

Printed: Shanxi Academy of Building Research Printing Technology Co., Ltd.

Address: Shanyouxiang of Taiyuan

Distributed: Openly

Distributor and Order Department: Editorial Office of ERS

<https://sxdz.cbpt.cnki.net/>

E-mail: [sxdzjbj@163.com](mailto:sxdzjbj@163.com)

Data of Publication: September.2024

国际标准连续出版物号 ISSN 1000-6265

国内统一连续出版物号 CN 14-1107/P

年定价：20.00元（不含邮寄费） 本期定价：5.00元

SHANXI DIZHEN



ISSN 1000-6265

CN 14-1107/P

CODEN SDIZEY

# 山西地震®

EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI

山西地震

二〇二四年

第三期

总第一九九期

2024 / 3

ISSN 1000-6265



山西省地震学会

全国优秀地震期刊 山西省连续十三年一级期刊  
中国期刊网 中国学术期刊(光盘版) 万方数据库全文收录期刊  
中文科技期刊数据库来源期刊 维普资讯网全文收录期刊  
中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊

2024年第3期

# 山西地震

(季刊·1973年创刊)

(总第199期)

## 目 次

### · 观测分析 ·

- 山西预警台网监测能力及预警能力研究 ..... 刘 炜,梁 艳,吕飞亚,李 晨(1)
- 山西阳高 M3.9 地震预警系统未触发台站的检测分析 ..... 李 晨,梁永烨,陈永新,刘 炜,冯凯宇(9)
- 2023 年山西清徐 M3.7 地震预警处理结果分析 ..... 冯凯宇,梁永烨,吕 睿,刘雪娇,窦立婷(15)
- 山西地震预警站网数据质量评估 ..... 丁大业,宫卓宏,徐 博,张文瑛(21)
- 大同、朔州地震预警基准、基本站运行质量分析 ..... 李文超,殷 锴,刘 炜,陈永新,王天琦,张子俊(28)

### · 技术交流 ·

- 山西预警台站信息管理系统的设计与开发 ..... 吕飞亚,梁 艳,刘 炜,宫卓宏(35)
- 预警基本二类站观测设备问题诊断与排除 ..... 刘国俊,李晓锐,刘焱坤,姚林鹏,李 芸(39)
- 山西省地震预警区域网的运行与分析 ..... 刘俊芳,谷利国,陈存田,张甲瑞,高 翔(43)

### · 工作论坛 ·

- 国家重点建设项目档案管理研究——以国家地震烈度速报与预警工程山西子项目为例 .....  
..... 许振鹏,张瑞芳,刘敏娟,李媛媛,张正霞(48)
- 校园地震预警科普宣传现状及展望 ..... 兰思萱,张瑞芳,陈存田,徐 博,张馨怡(51)

### · 来稿须知 ·

- ..... 《山西地震》编辑部(56)

责任编辑:张瑞芳; 校对:张正霞,梁永烨; 英文译校:李 斌  
期刊基本参数:CN 14-1107/P \* 1973 \* q \* A4 \* 56 \* zh \* P \* ¥5.00 \* 70 \* 10 \* 2024-09  
本刊网址:https://sxdz.cbpt.cnki.net/  
本刊电子信箱:sxdzjb@163.com

---

---

## **CONTENTS**

• **Observation and Analysis** •

- Research on the Monitoring and Early Warning Capability of Shanxi Earthquake Early Warning Network ..... LIU Wei, LIANG Yan, LV Feiya, LI Chen( 1 )
- Analysis of the Reasons for the Failure to Trigger Stations in the Shanxi Yanggao M3.9 Earthquake Early Warning System ..... LI Chen, LIANG Yongye, CHEN Yongxin, LIU Wei, FENG Kaiyu( 9 )
- Analysis of the Early Warning Processing Results for the 2023 Qingxu M3.7 Earthquake in Shanxi Province ..... FENG Kaiyu, LIANG Yongye, LV Rui, LIU Xuejiao, DOU Liting( 15 )
- Data Quality Assessment of Shanxi Earthquake Early Warning Station Network ..... DING Daye, GONG Zhuohong, XU Bo, ZHANG Wenying( 21 )
- Analysis of the Operation Quality of Datong and Shuozhou Earthquake Warning Standards and Basic Stations ..... LI Wenchao, YIN Kai, LIU Wei, CHEN Yongxin, WANG Tianqi, ZHANG Zijun( 28 )

• **Academic Exchange** •

- Design and Development of Shanxi Early Warning Station Information Management System ..... LV Feiya, LIANG Yan, LIU Wei, GONG Zhuohong( 35 )
- Diagnosis and Elimination of Observation Equipment Problems in Basic Second-class Warning Stations ..... LIU Guojun, LI Xiaorui, LIU Yaokun, YAO Linpeng, LI Yun( 39 )
- Operation and Analysis of Shanxi Earthquake Early Warning Regional Network ..... LIU Junfang, GU Liguo, CHEN Cuntian, ZHANG Jiarui, GAO Xiang( 43 )

• **Work Forum** •

- Research on Archive Management of National Key Construction Projects—Taking the Shanxi Sub Project of the National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning Engineering as an Example ..... XU Zhenpeng, ZHANG Ruifang, LIU Minjuan, LI Yuanyuan, ZHANG Zhengxia( 48 )
- Current Situation and Prospects of Campus Earthquake Warning Science Popularization and Publicity ..... LAN Sixuan, ZHANG Ruifang, CHEN Cuntian, XU Bo, ZHANG Xinyi( 51 )

- **Requirements for Paper** • ..... Editorial Office of “EARTHQUAKE RESEARCH IN SHANXI”( 56 )

## · 观测分析 ·

文章编号:1000-6265(2024)03-0001-08

## 山西预警台网监测能力及预警能力研究

刘炜<sup>1,3</sup>, 梁艳<sup>2,3</sup>, 吕飞亚<sup>2,3</sup>, 李晨<sup>2,3</sup>(1. 山西省地震局大同地震监测中心站, 山西 大同 037000; 2. 山西省地震局, 山西 太原 030021;  
3. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

**摘要:** 山西预警台网已进入正式运行阶段, 山西作为重点预警区域, 其预警能力直接影响山西及周边地区的预警效率。为精准评估山西预警台网的监测预警能力, 基于台网记录的波形数据, 选用仪器最大概率峰值位移作为背景噪声的评估指标, 以确定台网的监测水平。结合预警高时效性的需求, 对预警的最小震级和首报时间进行系统评估。结果显示, 山西预警台网的平均监测能力达到  $M_L 0.8$ , 最小可监测到  $M_L -0.2$ , 最大为  $M_L 1.5$ ; 测震、强震、烈度台网三网融合后预警的最小震级为  $M_L 2.1$ , 首台触发预警平均时间为 4 s, 震后预警平均时间为 6.9 s, 使山西省能够有效地进行地震应对, 提高对公众的安全保障, 有效为公众和政府的地震应急管理提供科技支持。

**关键词:** 监测能力; 地震预警; 首报时间

**中图分类号:** P315.73

**文献标志码:** A

## 0 引言

地震预警系统是一种关键的公共安全技术, 能在地震破坏性波动到达之前提供几秒至几十秒的预警时间, 为人员疏散和关键设施的保护提供宝贵时间。地震预警技术的研究和应用在全球范围内已取得显著进展<sup>[1-2]</sup>。

山西省位于中国北部, 地处华北地震带, 历史上曾多次发生破坏性地震。建立一个高效、精准的地震预警系统不仅能够挽救生命, 还能减少经济损失和社会影响。近些年来, 山西省地震局依托“国家地震烈度速报与预警工程山西子项目”建立山西地震预警台网, 实现地震预警功能。新建 1 013 个台站、改造 83 个现有台站, 形成高密度综合的地震观测网络。建设前测震台网的平均台间距约为 52.43 km, 建设后可实现重点区域内平均台间距 12 km, 一般区内平均台间距 42.06 km。地震台网监测能力是定量化评估区域台网规划和建设质量的关键指标, 其取决于台站所能记录到的最小地震震级。针对山西地震台网的监测能力, 梁向军等<sup>[3]</sup>基于山西数字地震台网 2015—2019 年记录的地震目录及观测报告数据, 采用“基于概率的完整性震级”PMC 法、震级—序号法、最优拟合度(GFT)法和最大曲率法等多种方法分别评估山西地震台网的监测能力, 并结合山西测震台网的实际情况和不同评

估方法的计算原理进行对比分析。结果显示, 除部分台站围限的区域能监测到  $M_L 1.0$  及以下的地震外, 其余区域的监测能力下限为  $M_L 1.5$ 。

山西预警台网开始试运行后, 科学评价台网规划、建设质量、预警能力显得尤为迫切。文章采用最大概率峰值位移方法<sup>[4]</sup>在计算山西预警台网的监测能力基础上, 对山西预警能力进行评估并分析预警首报时间, 并通过对比分析系统运行以来山西地区 4 次 3 级以上地震预警事件的产出情况与理论评估结果, 找出差异, 发现问题, 为更好地开展地震预警工作提供技术性参考依据。

## 1 山西预警台网介绍

国家地震烈度速报和预警工程山西子项目在山西省范围内新建台站 1 013 个(基准站 30 个、基本站 122 个、一般站 861 个), 改造现有台站 83 个(基准站 51 个, 基本站 32 个), 形成由 1 096 个台站组成的预警站网。81 个基准站平均台间距约 40.67 km, 其中 51 个测震台站为改造基准站, 30 个为新建基准站; 在重点区内的 141 个基本站平均台间距约 30.29 km, 一般区内 13 个基本站平均台间距约 42.06 km; 861 个一般站间距约 12 km。山西地震预警台站分布如图 1 所示。

地震发生后, 数据处理系统可在首台触发 4~6 s

收稿日期: 2024-06-26

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-2413)。

第一作者简介: 刘炜(1994—), 男, 山西太原人。助理工程师, 主要从事地震监测运维工作, E-mail: leonard934@163.com。

通讯作者: 梁艳(1986—), 女, 山西太原人。硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地震监测运维工作, E-mail: liangyan\_@126.com。



内生成地震预警第一报信息,5~10 s内生成远场大震预警信息,后续随观测数据的增多持续更新预警信息,并根据发布规则向公众和特定用户发布紧急避险或告知信息。数据处理系统可在震后1 min左右生成地震基本参数自动终报信息,3 min内生成乡镇级行政区

划单位实测地震烈度速报信息,10 min内生成精细化地震烈度分布图及峰值加速度和峰值速度的空间分布图、加速度和速度的动态震动图、地表地震波累积能量的时空分布图、多个周期点的加速度反应谱和速度反应谱空间分布图。

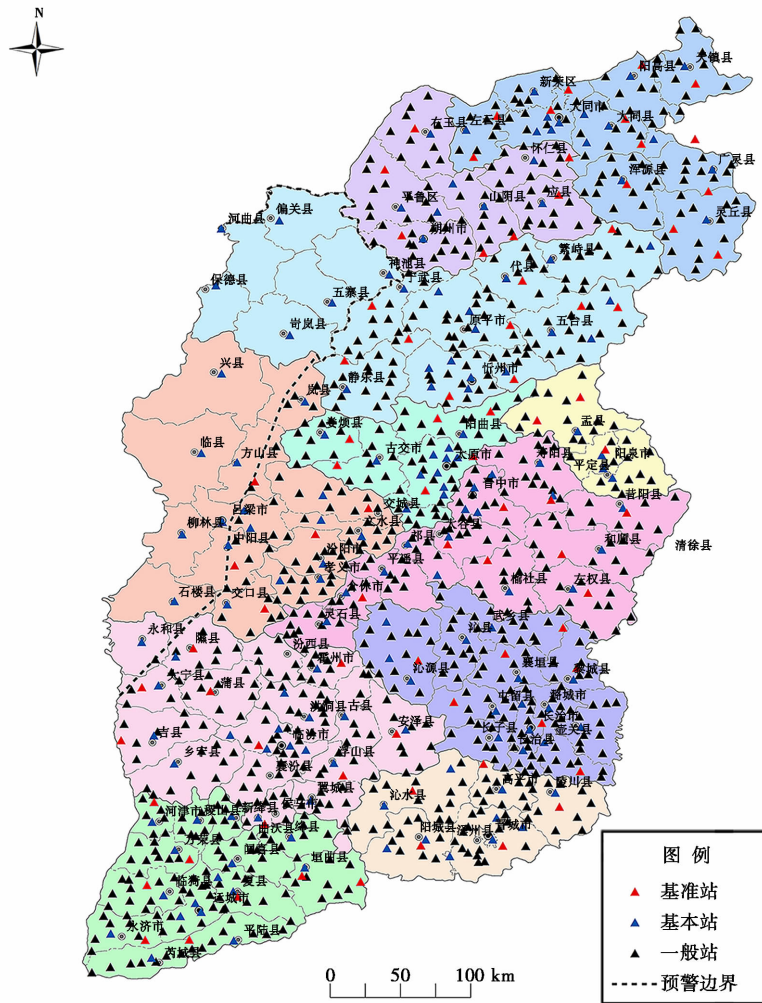


图1 山西地震预警台站分布  
Fig.1 Distribution of earthquake warning stations in Shanxi Province

## 2 方法原理

### 2.1 台网监测能力

通过台站基噪声值来确定可观测地震事件的振幅值,依据该振幅值和近震震级公式建立震级大小和震中距的对应关系。计算监测能力的方法采用由近震震级公式得到的量规函数反推单台控制距离进行计算。

$$M_L = \lg(A) + R(\Delta)$$

$$A = \frac{A_N + A_E}{2}, \quad (1)$$

式中: $A$ 为最大振幅,单位为微米( $\mu\text{m}$ ); $A_N$ 为北南向S波或 $L_g$ 波最大振幅; $A_E$ 为东西向S波或 $L_g$ 波最大振幅; $\Delta$ 为震中距,单位为千米(km); $R(\Delta)$ 为地方性震级的量规函数。

### 2.2 台网预警能力

将山西台网测震、强震和烈度计三类传感器记录的波形数据统一仿真成位移量,S波位移峰值 $U_m$ 取背景位移噪声PGD的3倍。按 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 对台网监测空间尺度网格化,则第*i*个台站,第*j*个网格测定的震级为:

$$M_{ij} = \log(3 \times PGD_i) + R(\Delta_j)。(2)$$

将各台站测定的震级从小到大排序,以四台定位计算,取四个中最高的震级为该网格的监测能力,即为地震预警最小震级<sup>[5]</sup>。

根据台网定位和测定震级的时间,分别对首台触发后的地震预警首报时间和震后的地震预警首报时间进行理论计算评估<sup>[6]</sup>。设定震源深度为 15 km,首台触发后测定震级需要的波形时长为 3 s,延迟设置为 1 s,按  $0.05^\circ \times 0.05^\circ$  对台网网格化,假定每个网格内发生一次地震,按震中距最近的前四台定位,对于某网格内发生的地震,暂不考虑数据处理时间和发布时间的影响,仅理论计算获得首报处理的结果时间。实际在业务运行中,要充分考虑观测数据打包时间、通信网

络传输延迟、信息发布延迟、系统计算地震参数时间以及台网捕捉地震信息的能力等多个因素对预警时效性的影响<sup>[7]</sup>。

### 3 山西预警台网监测能力分析

对山西预警台网的监测能力进行初步评估,首先按式(1)计算 81 个地震计组成的测震台网的监测能力,并绘制监测能力的空间分布图、直方图和概率分布图。如图 2 所示,在山西 55% 的区域具有  $M_L 0.9$  的地震监测能力,95% 的区域具有  $M_L 1.2$  的地震监测能力,平均监测能力为  $M_L 0.8$ 。局部重点区域最高能监测到  $M_L -0.2$  地震。全省范围内具有  $M_L 1.5$  的地震监测能力。

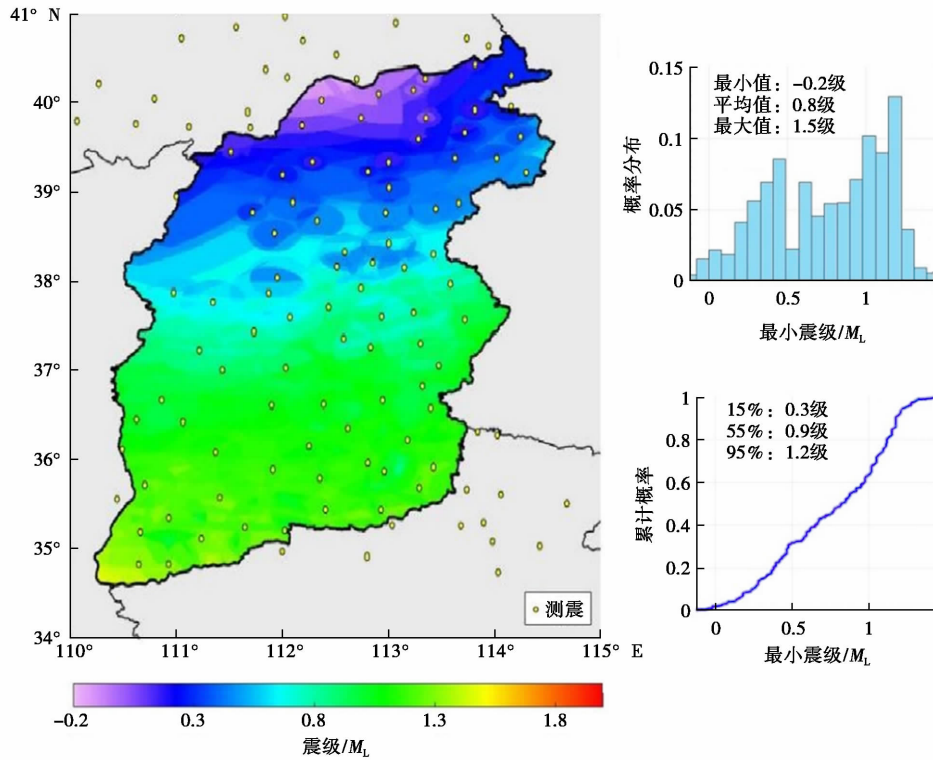


图 2 测震台网监测能力

Fig. 2 Monitoring capability of seismic networks

根据式(1)计算 154 个强震仪组成的强震台网的监测能力,并绘制监测能力的空间分布图、直方图和概率分布图。如图 3 所示,强震台网在山西 55% 的区域具有  $M_L 2.0$  的地震监测能力,95% 的区域具有  $M_L 2.3$  的地震监测能力,全省范围内具有  $M_L 2.5$  的地震监测能力。

按式(1)计算 861 个烈度计组成的烈度计台网的监测能力,并绘制监测能力的空间分布图、直方图和概率分布图。如图 4 所示,烈度计台网在山西 55% 的区域具有  $M_L 3.7$  的地震监测能力,95% 的区域具有

$M_L 4.2$  的地震监测能力,全省范围内具有  $M_L 4.4$  的地震监测能力。

对工程建设前山西测震台网监测能力进行评估,按式(1)计算 57 个地震计组成的测震台网的监测能力,并绘制监测能力的空间分布图、直方图和概率分布图。如图 5 所示,原山西测震台网在山西 55% 的区域具有  $M_L 1.4$  的地震监测能力,95% 的区域具有  $M_L 1.6$  的地震监测能力,全省范围内具有  $M_L 1.8$  地震的监测能力。

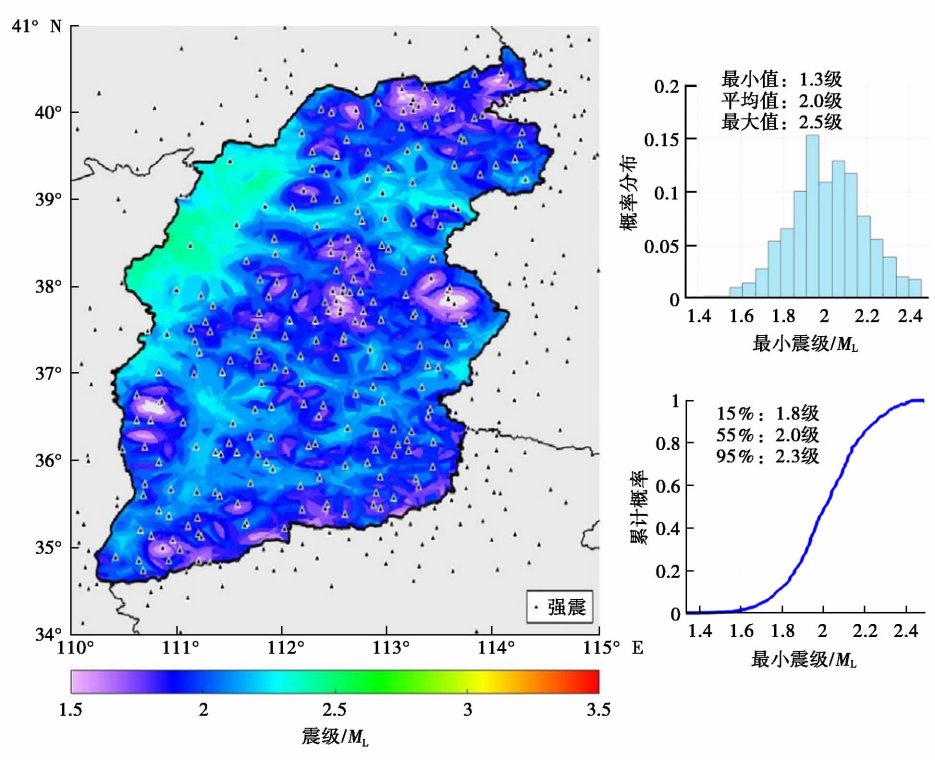


图3 强震台网监测能力  
Fig. 3 Monitoring capability of strong earthquake networks

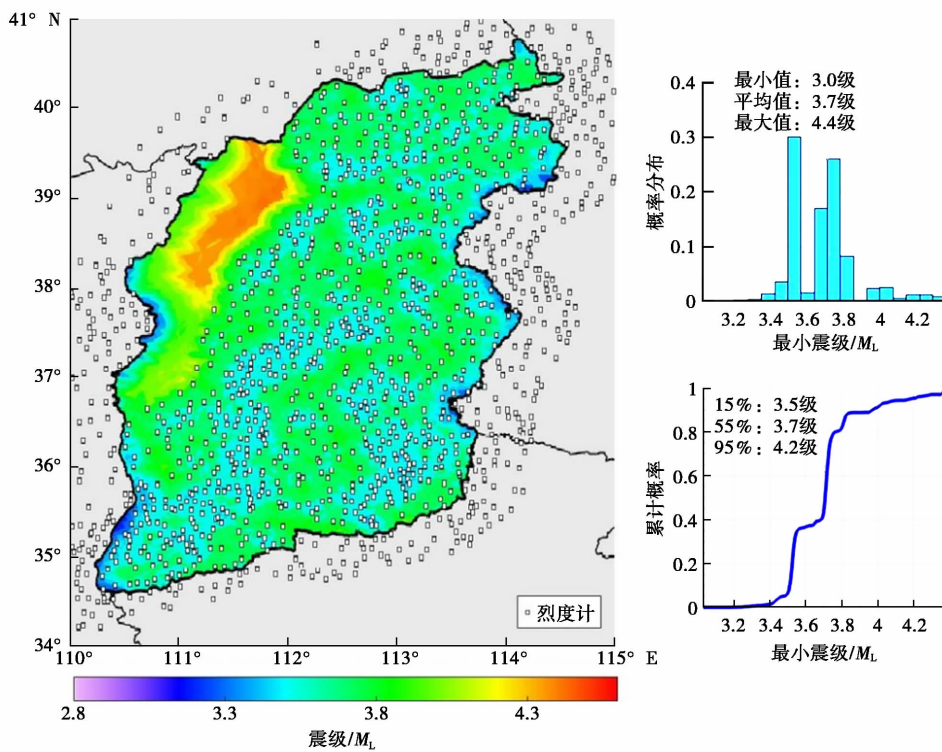


图4 烈度计台网监测能力  
Fig. 4 Monitoring capability of intensity gauge network



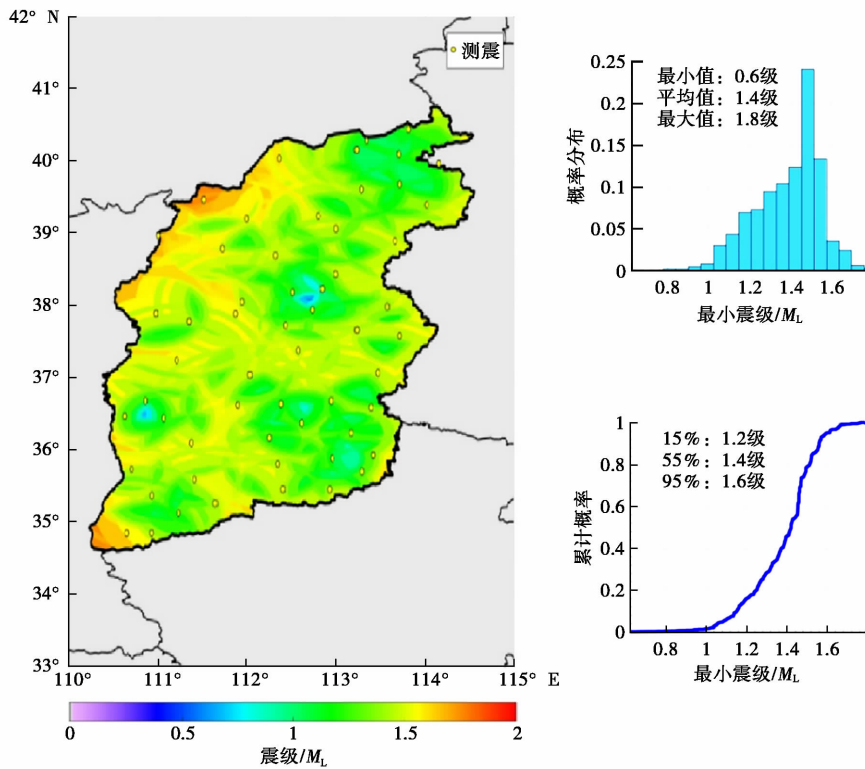


图5 预警台建设前测震台网监测能力

Fig. 5 Monitoring capability of seismic networks before the construction of warning stations

综上,由地震计、加速度计和烈度计组成的预警台网和原仅由地震计组成的测震台网相比有明显的提升,地震计的监测震级能力最高。监测能力提升的主要原因是地震计密度的增加,加速度计和烈度计台网对监测能力提升作用不大,且三类传感器在西北区域的监测能力偏弱。

#### 4 山西预警台网预警能力分析

设定山西地区平均震源深度 15 km,根据式(2)对山西测震、强震、烈度台网进行融合计算,得出地震预警最小震级,并绘制最小震级的空间分布图、直方图和概率分布图。如图 6 所示,山西地震预警最小震级平均值为  $M_L 2.1$ ,在重点区域可实现  $M_L 0.6$  的地震预警最小震级。西北部分地区由于台站密度较低,预警最小震级为  $M_L 4.0$ 。55%的区域地震预警最小震级为  $M_L 1.9$ ,95%的区域地震预警最小震级为  $M_L 3.5$ 。

以首台触发为起算点,计算获得测震强震烈度计三网融合台网的地震预警首报时间,以发震时刻为起算点,计算获得测震、强震、烈度计三网融合的震后地震预警首报时间,并绘制基于两种起算方法的山西预警台网首报时间估计图、直方图和概率分布图(见图

7、图 8)。结果显示,以首台触发起算得到的首报时间平均为 4 s,全省 98%的区域可在 4 s 内实现预警首台首报,重点地区预警首报时间延长至 6.6 s;山西全省 95%的区域预警震后首报时间为 8.0 s。西北部分地区由于台站密度较低,首台触发预警首报时间最大为 6.8 s,震后预警首报时间最大为 10.7 s。

为更全面地了解不同震源深度下山西台网的预警能力,针对震源深度 10 km、20 km、25 km、30 km 分别进行不同震源深度下预警能力评估。由表 1 可见,首台首报时间全部为 4 s,随着震源深度的增加,震后首报时间递增。

#### 5 预警产出案例分析

山西预警中心共部署 JEEW 和 EEW 两套预警系统,2024 年以来山西共发生大于  $M 3.0$  地震 4 次,地震预警产出情况与当地理论预警时效进行对比。如表 2 所示,在实际地震发生后,JEEW 系统多网融合的预警首报时间与评估理论时间基本一致,甚至优于评估结果;EEW 系统与评估理论时间对比存在部分差异,还需进一步分析其原因。由于震例较少,还需进一步积累资料开展相关研究。



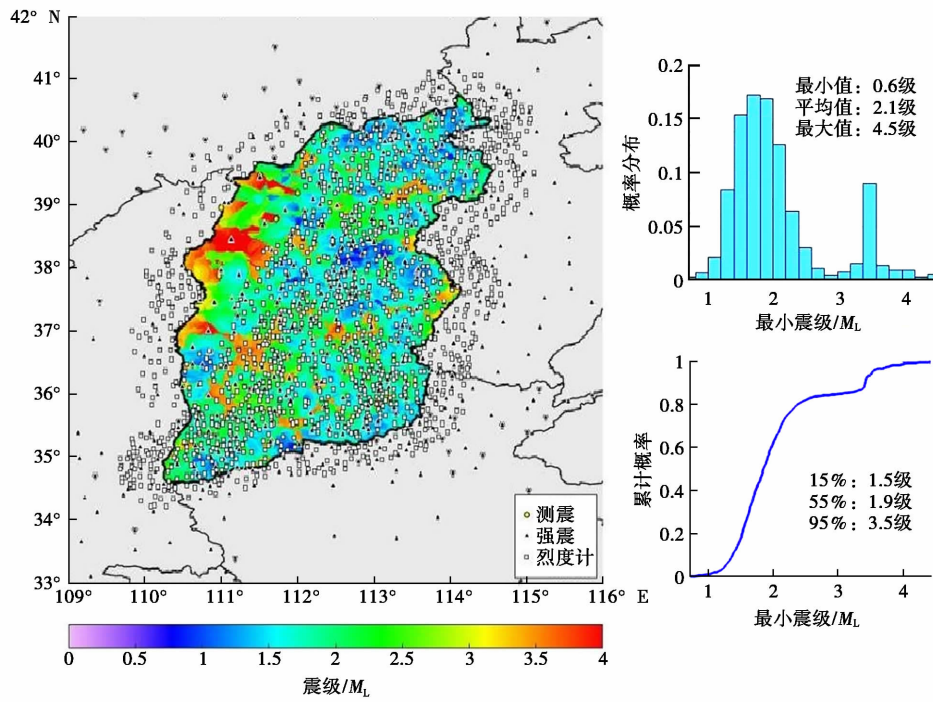


图 6 测震强震烈度计多网融合预警最小震级

Fig. 6 Minimum earthquake magnitude for multi network fusion warning of seismic intensity meter for strong earthquakes

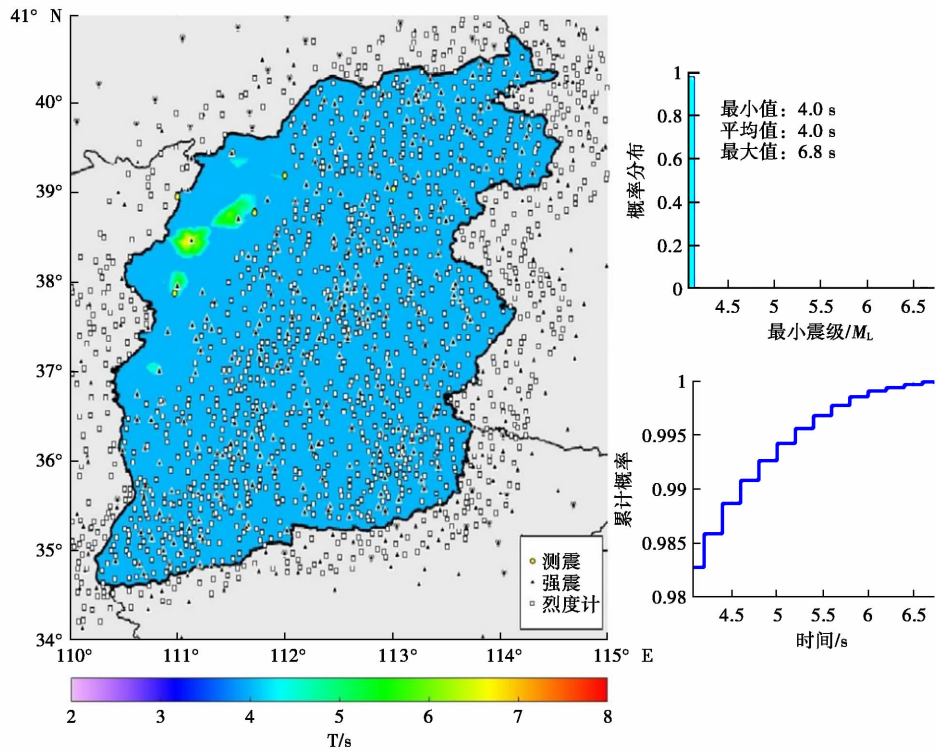


图 7 山西测震、强震、烈度融合台网地震预警首报时间空间分布——首台触发起算

Fig. 7 Time and spatial distribution of the first earthquake warning report of Shanxi Seismic Intensity Fusion Network-Starting from the triggering of the first station

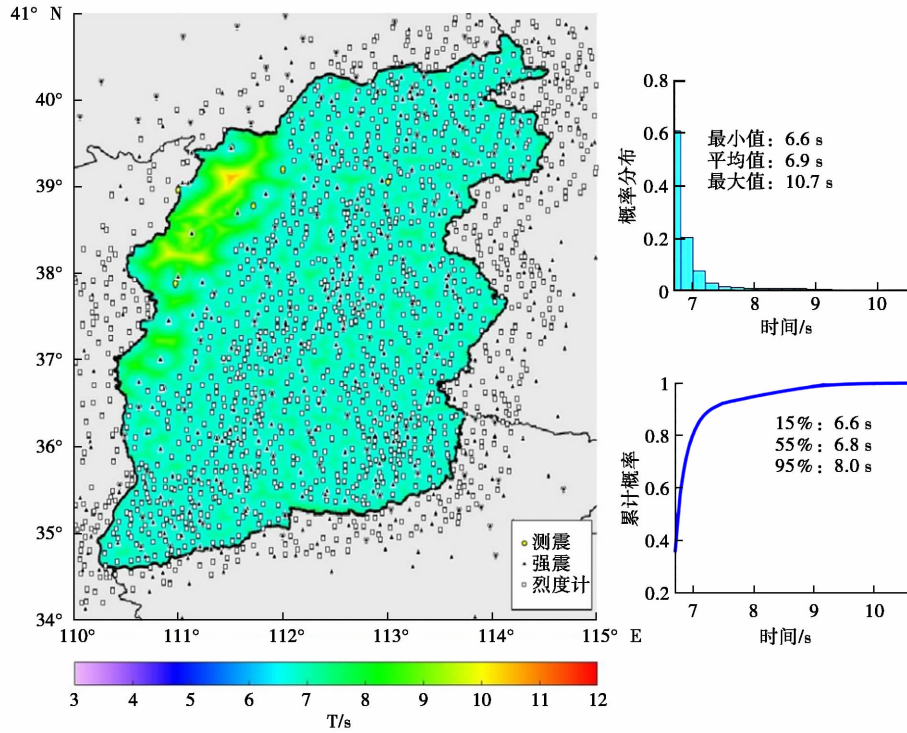


图8 山西测震强震烈度融合台网地震预警首报时间空间分布——震后起算

Fig. 8 Time and spatial distribution of the first earthquake warning report of Shanxi Seismic Intensity Fusion Network-Starting from the earthquake after the earthquake

表1 不同震源深度下预警能力统计表

Table 1 Statistical table of early warning capability at different seismic source depths

震源深度(km)	55%的区域预警能力			95%的区域预警能力		
	预警最小震级(M)	首台首报时间(s)	震后首报时间(s)	预警最小震级(M)	首台首报时间(s)	震后首报时间(s)
10	2.1	4	6.0	3.6	4	7.6
15	1.9	4	6.8	3.5	4	8.0
20	1.8	4	7.6	3.4	4	8.6
25	1.7	4	8.3	3.3	4	9.1
30	1.7	4	9.1	2.6	4	9.7

表2 山西中心预警系统产出情况

Table 2 Output of Shanxi central early warning system

时间 年-月-日 T 时:分:秒	地点	震级 (M)	JEEW 系统震 后首报时间(s)	JEEW 系统首台 首报时间(s)	EEW 系统震后 首报时间(s)	EEW 系统首台 首报时间(s)	首台 台站(SX)	首台台 站震中 距(km)	理论震 后首报 时间(s)	理论首 台首报 时间(s)
2024-2-20T17:52:34	山西右玉	3.2	6.9	3.9	7.8	4.7	F0006	10.36	7	4
2024-4-25T21:00:53	山西襄汾	3.2	6.3	3.5	12.7	9.9	L0073	5.01	7	4
2024-5-19T03:35:44	山西阳高	3.9	4.8	2.6	5.4	3.1	BY001	6.18	7	4

## 6 结论与讨论

基于背景噪声采用理论计算方法对山西预警台网

的地震预警能力进行评估,结果如下:

(1) 山西地震预警台网的建设在显著提升全省的地震监测能力方面发挥出重大作用。山西预警台网建

立后平均监测能力达到  $M_L 0.8$ ,尤其在重点区域,最高监测能力达  $M_L -0.2$ 。与原山西测震台网平均  $M_L 1.4$ 的监测能力相比有较大的提高。

(2) 山西预警台网已具备地震预警能力。以震源深度 15 km 为例,在理想条件下,首台首报时间平均为 4 s,震后首报时间平均为 6.9 s,预警最小震级平均可达  $M_L 2.1$ 。

(3) 山西西北地区预警能力相较于全境较弱,还需进一步提高台站密度。

(4) 2024 年以来的 4 次 3 级以上地震事件预警首报时间与理论时间对比结果显示,JEEW 预警系统的实际预警首报时间与理论评估接近,部分情况甚至优于预期。EEW 系统的预警时效与理论结果存在差异,需进一步分析改进。

山西省地震预警系统在提高地震监测精度和预警速度方面取得显著进展,同时显著提升了地震应急响应能力,但在实现更广泛区域的覆盖和更低震级的快速监测能力方面仍需进一步优化。未来,随着技术的不断发展和数据处理能力的提升,预计山西省的地震

预警系统将实现更大范围、更高效率的地震预警服务,为保护人民生命财产安全提供更坚实的保障。

### 参考文献:

- [1] Allen R M, Melgar D. Earthquake early warning: Advances, scientific challenges, and societal needs[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2019, 47(1):361-388.
- [2] Cremen G, Galasso C. Earthquake early warning: Recent advances and perspectives[J]. Earth-Science Reviews, 2020(205):103-184.
- [3] 梁向军,吴叔坤,王霞,等.用不同方法评估山西地震台网的监测能力[J].山西地震,2024(1):38-43.
- [4] 游秀珍,林彬华,李军,等.福建省地震台网预警能力评估[J].地震学报,2023,45(1):126-141.
- [5] 余思,唐婷婷.江西省测震站网地震预警能力评估初步研究[J].地震科学进展,2021,51(6):246-251.
- [6] 刘辰.地震预警模式及预警能力分析[D].北京:中国地震局地球物理研究所,2015.
- [7] 丁大业,董春丽,宫卓宏,等.山西地震预警新建基准站数据质量评估[J].山西地震,2023(2):15-22.

## Research on the Monitoring and Early Warning Capability of Shanxi Earthquake Early Warning Network

LIU Wei<sup>1,3</sup>, LIANG Yan<sup>2,3</sup>, LV Feiya<sup>2,3</sup>, LI Chen<sup>2,3</sup>

(1. Datong Earthquake Monitoring Center Station of Shanxi Earthquake Agency, Datong, Shanxi 037000, China; 2. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China; 3. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** The Shanxi Earthquake Early Warning Network has entered the formal operation stage. As a key early warning area, Shanxi's early warning capability directly affects the early warning efficiency of Shanxi and surrounding areas. To accurately evaluate the monitoring and early warning capabilities of Shanxi Earthquake Early Warning Network, based on the waveform data recorded by the network, the maximum probability peak displacement of the instrument is selected as the evaluation index of background noise to determine the earthquake monitoring level of the network. A systematic evaluation was conducted on the minimum magnitude and initial reporting time of the warning, taking into account the need for timely warning. The results show that the average monitoring capability of Shanxi Early Warning Network reaches  $M_L 0.8$ , with a minimum detectable  $M_L -0.2$  and a maximum detectable  $M_L 1.5$ ; The minimum magnitude for early warning after the integration of seismic measurement, strong earthquake, and intensity network is  $M_L 2.1$ . The average time for the first station to trigger early warning is 4 seconds, and the average time for post earthquake early warning is 6.9 seconds. The research results enable Shanxi Province to effectively carry out earthquake response, improve the level of public safety protection, and provide useful support for earthquake emergency management of the public and the government.

**Key words:** early warning network; monitoring capability; earthquake warning; first report time

# 山西阳高 M3.9 地震预警系统未触发台站的检测分析

李晨<sup>1,2</sup>, 梁永焯<sup>1,2</sup>, 陈永新<sup>1,2</sup>, 刘炜<sup>1,2</sup>, 冯凯宇<sup>1,2</sup>

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

**摘要:** 国家地震烈度速报与预警工程山西子项目自建成以来, 已产出多次地震预警信息。在预警系统进行数据处理时, 存在少量台站距离震中较近但未触发(未参与数据计算)的现象。通过对2024年5月19日山西阳高 M3.9 地震事件中未触发台站在参数设置、数据传输延时、观测数据质量、观测环境等方面可能原因进行分析讨论, 可以得出, 未触发台站的各项配置正确, 观测质量达标, 其原因可能与信噪比未满足震相识别中的阈值有关。

**关键词:** 地震预警; 未触发台站; 检测分析

**中图分类号:** P315.62

**文献标志码:** A

## 0 引言

国家地震烈度速报与预警工程是我国一项重要的民生工程, 地震预警系统可实现在震后数秒内快速产出震源位置、预警震级、预测烈度等产品, 为不同目标区提供几秒至几十秒的应急处置时间, 给人民群众紧急避险和政府灾后救援提供科学引导。

预警台站是地震预警和监测的基本单元, 主要功能是产出观测波形数据<sup>[1]</sup>。当发生地震时, 预警系统实时汇集观测数据, 再通过数据处理子系统的分析、计算、加工, 最终产出地震预警信息<sup>[2]</sup>。因此, 预警站点正常平稳运行是地震预警系统快速高效产出的基础。

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目建成以来, 两套预警子系统 A-JEEW 和 B-EEW 已产出多次地震预警信息。但对台站质量进行评估时, 发现存在部分距离震中较近的台站却均未参与两套子系统的计算(下文称为未触发台站)。此类情况若是由台站数据异常引起, 则可能导致后期产出的地震预警结果发生迟滞和偏差, 造成不可预估的损失。

本文结合山西地区阳高 3.9 级地震, 整理两套子系统中均未触发的台站列表, 对其进行系统的检测和分析, 研究在台站参数、数据传输、波形质量、背景噪声、安装规范等方面可能存在的问题, 达到排除隐患的效果, 为预警系统安全稳定运行保驾护航。

## 1 山西预警系统建设现状

国家地震烈度速报与预警工程作为国家“十三五”期间的重大工程项目, 于 2018 年 7 月正式启动建设。

山西省地震局作为预警工程先行先试单位于 2021 年底基本完成山西子项目的建设, 2022 年 4 月进入内部测试运行, 2023 年 10 月通过子项目验收, 并在重点区内实现秒级地震预警和分钟级烈度速报能力。

山西预警站网共有 1 096 个站点, 其中基准站 81 个(新建 30 个、改造 51 个), 基本站 154 个(新建 122 个、改造 32 个), 一般站 861 个, 台站分布均匀, 台间距科学合理, 可为地震预警系统提供实时数据源。

山西地震预警系统设置的产出震级下限为 3.0 级, 首报最少需要 4 个触发台站。即地震发生后, 预警系统实时拾取震中附近至少 4 个台站的 P 波到时进行自动定位并估算地震震级, 当计算结果大于 3.0 级时, 则满足预警信息发布条件。山西地震预警系统已实现在首台触发后 4~6 s 内生成预警第一报信息, 后期随着触发台站数量的增多持续更新预警结果, 直至当次预警结束。

客观来讲, 距离震中较近的观测台站能否正常记录并参与数据计算, 直接影响预警信息产出的时效性和准确性。地震预警结果在业务运行中易受到观测数据记录质量、通信网络传输延迟、系统计算地震参数时间以及台网捕捉地震信息能力等多个因素的影响。

## 2 未触发台站检测分析

震中附近台站是否成功参与预警系统处理计算, 可以在地震事件中得到验证。本次以 2024 年 5 月 19 日在山西阳高 3.9 级地震中未触发的台站为例进行分析, 该地震为自山西预警系统建设以来发生的最大震级地震, 处于预警重点区, 影响面广, 附近台站分

收稿日期: 2024-07-19

第一作者简介: 李晨(1994—), 男, 山西武乡人。助理工程师, 主要从事地震监测预警和台网运行维护工作, E-mail: lichen\_0860@qq.com。

通讯作者: 梁永焯(1989—), 女, 山西太原人。硕士研究生, 工程师, 主要从事地震监测速报、预警工作, E-mail: 949464708@qq.com。



布均匀合理。

在本次地震中,山西预警中心共接入预警台站 1 685个,距离震中 50 km 内共有 59 个台站。预警子系统 A—JEEW 系统在 30 s 内产出 54 次预警结果,其中 50 km 内触发台站 46 个,未触发台站 13 个。预警子系统 B—EEW 系统在 30 s 内产出 4 次预警结果,其中 50 km 内触发台站 28 个,未触发台站 31 个。50 km 内 A—JEEW 系统与 B—EEW 系统都未触发的台站共 13 个(见表 1)。

山西预警中心通过 21 网段接入交换河南、河北、内蒙古、陕西 4 个相邻省局 50 km 范围内的基本站、一般站数据,及 200 km 范围内基准站的数据。因此在省界附近发生地震时,会补充邻省台站数据参与系统计算,本文仅对山西境内 9 个未触发一般站进行分析检测。

### 2.1 台站参数

一般站依托山西铁塔的通信基站建设,每个台站配备一台烈度仪。观测仪器 24 小时在网运行,不间断记录产出地震动数据,为预警系统提供基础数据支撑。台站产出的数据格式受到仪器参数的控制,仪器参数是地震动信息加工处理的“第一阀门”,系统参数是预警系统与仪器观测数据对接的“桥梁”,保障获取数据的匹配、合规。

参数的配置内容直接关系着预警结果的变化。仪器或系统参数错误,会导致预警系统误触发、未触发、震级计算不准等严重后果,不仅影响预警发布信息的可靠性和精确性,更有可能对社会造成不可预估的后果。为此,山西省地震局在预警系统运行后已建立严

格的参数同步机制,保证双端参数的准确、统一。

表 1 预警系统未触发台站列表  
Table 1 List of stations not triggered by the early warning system

序号	台网	未触发台站	距离震中(km)
1	NM	J0014	27.0
2	NM	J0019	32.5
3	SX	B0016	36.4
4	SX	B0003	40.1
5	NM	J0015	40.2
6	SX	B0063	41.3
7	NM	J0047	41.7
8	SX	B0007	42.3
9	SX	B0013	42.8
10	SX	B0014	47.2
11	SX	B0026	48.2
12	SX	B0004	49.6
13	SX	B0058	49.7

台站参数主要分为仪器端和系统端。数采中重要参数有通道代码、数据传输模式、打包时长、事件触发参数、定位经纬度、滤波器、采样率等。重要参数有经纬度、仪器标识符、响应单位标识符、方位角、仪器灵敏度、滤波系数、归一化因子、通道响应等。表 2 所示为依照参数配置手册对 9 个台站的双端参数进行详细核查的结果。

表 2 未触发台站参数核查表  
Table 2 Non triggered station parameter verification table

台站代码	仪器型号	仪器端					系统端			
		台站名称	位置/通道标识	经纬度	数据打包时间(s)	触发类型	滤波器	采样率	系统经纬度	系统通道信息
B0016	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0003	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0063	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0007	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0013	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0014	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0026	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0004	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√
B0058	MI3000	√	40/EI	√	0.5	STA/LTA	IIR/最小相位	100 Hz	√	√

通过检查,9 个未触发台站仪器端和系统端各项参数配置准确无误。因此,本次未触发原因与台站基本参数无关。

### 2.2 数据质量

#### (1) 传输时延。

观测数据的传输时效直接影响预警系统的效能发

挥,在地震发生时,负延时、大延时等传输异常会直接影响数据到达时间,导致预警系统不能及时获取数据进行处理计算,甚至引发漏报、迟报等后果,因此台站数据的正常稳定传输是重中之重。

一般站数据传输方式是先通过无线将实时数据发送给中国铁塔上海云中心,云中心按照 IP 地址分配规则经国家承载网转发至省级中心,省级中心在开展合规性检测合格后再统一发送至核心业务区进行数据处理。按照数据传输规范要求,传输时间要保持在 0.5~2 s 内(含打包时间),以保障预警系统的及时读取。

此外,由台站观测系统故障引起的数据延时异常或波形异常,如不能在短时间内恢复,台站会被设置为不入网状态,不参与预警系统数据计算,在地震发生时未能恢复,则造成台站未触发。现对震前传输时延、数据在线入网情况进行检测分析(见表 3)。

表 3 未触发台站数据传输状态核查表  
Table 3 Verification table for data transmission status of untriggered stations

台站编码	平均延时(s) (含打包时间)	最大延时(s) (含打包时间)	最小延时(s) (含打包时间)	入网标记	震前连续率(%)
B0003	0.75	1.30	0.68	在网	100
B0004	0.73	0.82	0.66	在网	100
B0007	0.71	0.78	0.64	在网	100
B0013	0.83	1.41	0.68	在网	100
B0014	0.73	0.83	0.67	在网	100
B0016	0.71	0.79	0.66	在网	100
B0058	0.78	1.41	0.64	在网	100
B0063	0.71	0.80	0.64	在网	100
B0026	0.71	0.88	0.65	在网	100

通过对 9 个未触发台站震前延时的计算汇总得出其平均延时、最小延时、最大延时均在 0.5~2 s 内,且无负延时时段,满足相关传输要求。在 cstp 客户端或 jopens 流服务中查看上述台站均处于入网状态;在连续率统计表中可知地震发生时刻所有台站均处于在线运行状态。经检测各项传输及运行指标正常,说明在地震发生时,不存在由数据延迟到达或离线退网状态导致的台站未触发情况。

### (2) 波形质量。

波形记录是否清晰可用是评价台站观测质量的关键指标。在实际观测中,由于供电电压不稳、干扰电流、零点值过大、人为上站维护和巡检发电、复杂的周边环境,会导致观测波形产生高频干扰、周期性干扰、零漂、台阶、方波、毛刺等畸变现象。这些异常波形会干扰震相形态,从而影响预警系统分析判断。

山西地震台预警值班员每日至少 2 次浏览所有台站的连续波形,通过监控运维系统和波形监控软件进行波形巡检,将异常台站及时设置为退网状态。但在长期的运行中,由环境和人为因素导致的偶发性干扰不可避免。

通过 msdp 软件攫取查看 9 个未触发台站在发震时的观测波形发现均有事件记录,零点值都在正常范围内,未发现到时残差异常、波形异常干扰等情况(见图 1)。这可能与烈度仪布设在铁塔建筑物内,本身观测能力有限相关,虽正常记录到地震事件,但 P 波初动不清晰,未达到预警系统可以准确判定拾检震相到时的程度,导致台站未触发。

### (3) 噪声计算。

稳定的观测仪器与合格的噪声背景是地震预警台网准确产出的基础。台站监测仪器实时记录的背景噪声数据主要包含地震信号、地脉动信号、台站周围环境干扰的噪声信号以及系统故障引起的失真信号<sup>[3]</sup>。以背景噪声水平分析为基础进行台站数据质量评估是确保地震监测台网正常运行的重要手段。

台站噪声易受到设备基础性能和观测环境变化的影响。根据山西局地震预警观测站运行技术要求,每月至少一次对全部预警站点进行台基噪声计算,动态监控噪声变化,保障观测背景符合标准要求。通过对未触发台站 UD、EW、NS 分向的震前 1 h 噪声与上月噪声进行对比,并结合信噪比、噪声功率谱概率密度函数(PDF)分析噪声水平特征,判断台站噪声背景是否存在异常。

根据中华人民共和国地震行业标准——《地震台站的建设规范地震速报与预警台站》(DB—T60—2015)的要求,当一般站用于地震预警时,地面脉动在 1~20 Hz 频带范围内的最大背景振动加速度噪声均方根值应不大于 0.01 m/s<sup>2</sup>,宜小于 0.001 m/s<sup>2</sup>。从表 4 可以看出,未触发台站震前噪声均小于 0.001 m/s<sup>2</sup>,符合地震预警及烈度速报要求。

地震信号信噪比是地震信号( $a_s$ )与噪声信号( $a_n$ )的比值,是评价台站事件记录质量的核心指标。假设地震信号在时间区间 $[t_1, t_2]$ 内,则地震信号能量( $E_s$ )可以表示为:

$$E_s = \int_{[t_1, t_2]} (a_s)^2 dt,$$

$$a_s = A \times \sin(\omega t),$$

式中: $A$  为振幅; $\omega$  为角频率; $t$  为时间。噪声信号能量  $E_n$  表示为:

$$E_n = \int_{[t_1, t_2]} (a_n)^2 dt$$

$$a_n = B \times \sin(\omega t),$$

地震信号信噪比公式为:

$$SNR = E_s / E_n。$$

通过对本次阳高地震未触发站点的观测波形标注震相,定位并提取信噪比值,如图2所示,50 km内(按震中距由近及远排列)未触发站点的信噪比明显处于

最低位,采用走时拾取法处理这些低信噪比资料时,难以准确拾取初至信息。

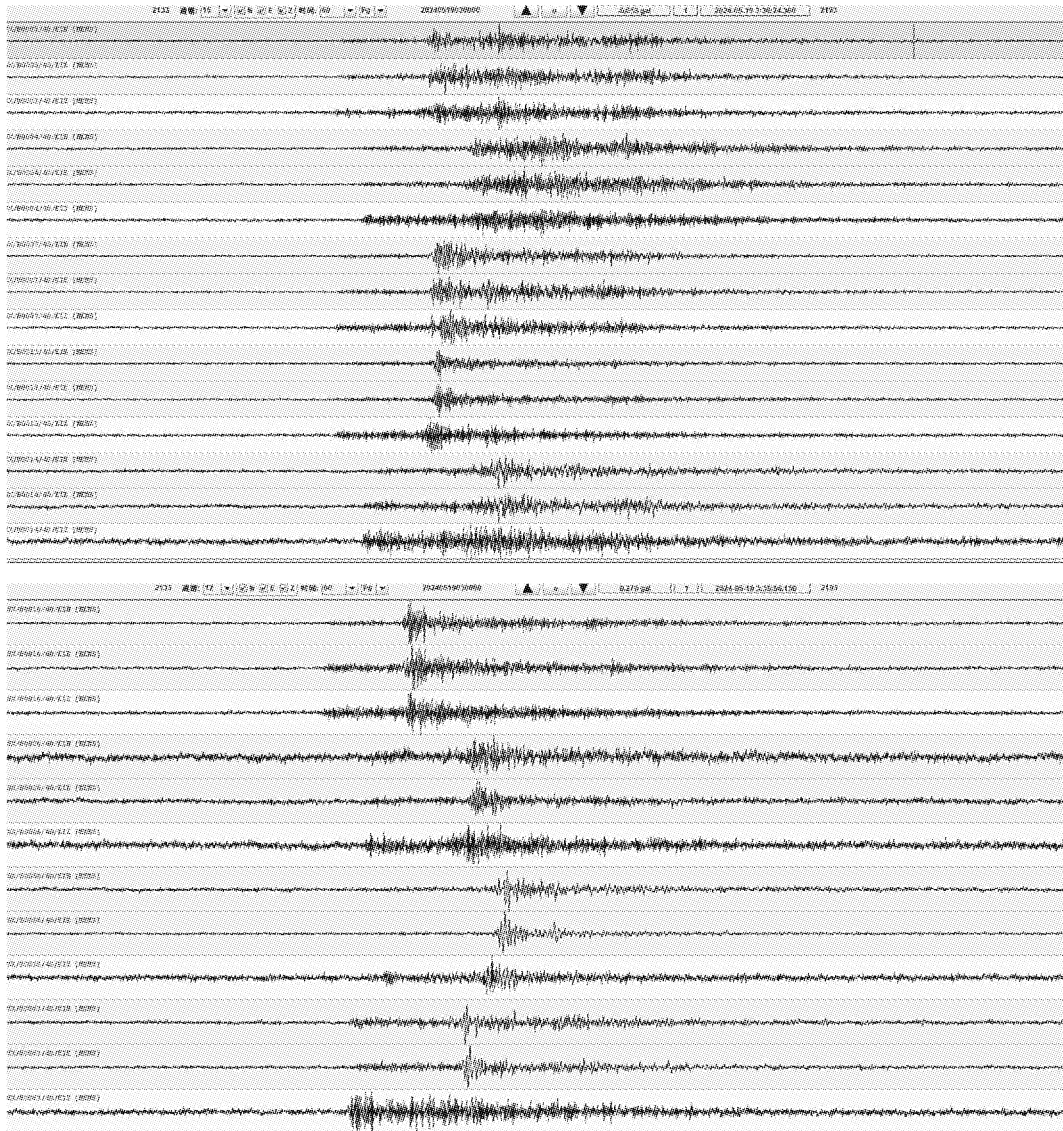


图1 未触发台站震时波形图

Fig.1 Waveform diagram of non triggered station earthquake

采用噪声功率谱概率密度函数(PDF)方法开展噪声水平评估,从图3可见,9个台站的噪声功率谱值均在-50~-75 dB,说明烈度仪的自噪声水平已远超出地脉动水平,地震事件的初至震相质量受到影响。综合来看,由于烈度仪本身信噪比偏低,且信噪比又会随着震中距的增加而逐渐衰减,未能良好记录,因此在本次地震中,9个一般站未触发是因波形记录信噪比未满足预警系统震相识别中的阈值所导致。

2.3 观测环境

一般站由烈度计、通信设备、供电设备及辅助设施

构成,设备全部安装在铁塔基站,并采用地面水平式安装方法。因烈度计是实时拾取地面加速度运动信息,所以在观测环境变化时会同步导致记录波形发生变化,影响预警系统的分析处理。

台站勘选时,会综合考虑地形地貌、地质条件、人口分布、公路、铁路、机场、水库、湖泊、河流、大型厂矿、气象、通信、社会经济条件等因素,应尽量避开周围可能存在的干扰源。因人类社会建设发展快、流动性强,由上站发电、周围建筑施工、房屋破损漏水、大型车辆行驶导致的环境干扰不可避免。

表 4 未触发台站噪声计算表  
Table 4 Non triggered station noise calculation table

台站代码	台站噪声(m/s <sup>2</sup> )			震前噪声(m/s <sup>2</sup> )		
	UD	EW	NS	UD	EW	NS
B0016	0.000 383 098	0.000 383 098	0.000 383 098	0.000 661 916	0.000 398 772	0.000 388 129
B0003	0.000 380 676	0.000 380 676	0.000 380 676	0.000 651 583	0.000 399 597	0.000 398 843
B0063	0.000 359 923	0.000 359 923	0.000 359 923	0.000 659 765	0.000 371 431	0.000 409 713
B0007	0.000 361 062	0.000 361 062	0.000 361 062	0.000 651 626	0.000 359 789	0.000 409 526
B0013	0.000 373 337	0.000 373 337	0.000 373 337	0.000 679 858	0.000 377 631	0.000 396 708
B0014	0.000 392 08	0.000 392 08	0.000 392 08	0.000 685 655	0.000 386 811	0.000 407 016
B0026	0.000 404 564	0.000 404 564	0.000 404 564	0.000 674 383	0.000 404 007	0.000 397 447
B0004	0.000 379 749	0.000 379 749	0.000 379 749	0.000 651 379	0.000 387 475	0.000 398 84
B0058	0.000 448 405	0.000 448 405	0.000 448 405	0.000 685 693	0.000 444 408	0.000 482 161

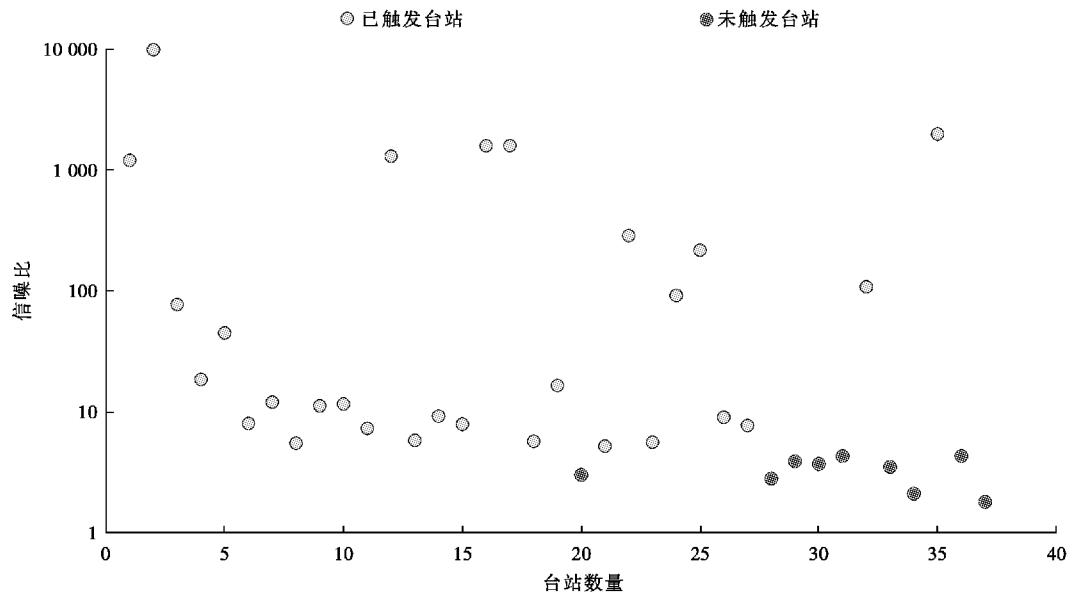


图 2 阳高地震震中距 50 km 内预警台站信噪比图  
Fig. 2 Signal to noise ratio of warning stations within 50 km of the epicenter of the Yanggao earthquake

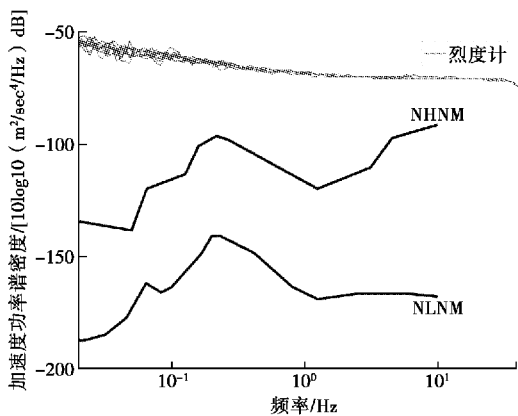


图 3 未触发台站噪声功率谱概率密度函数(PDF)  
Fig. 3 Probability density function of noise power spectrum of non triggered stations (PDF)

在台站建设初期,山西局严格要求铁塔人员按照规范安装仪器,在安装检查时发现存在仪器未调平、方位角错误、仪器与地面固定不牢、仪器安装在隔水板上等问题。在动环集成中,存在航空插头虚接反接、针脚损坏、摆线过度曲折等问题,导致仪器记录无效。对此山西局高度重视,立即安排中心站业务人员协助整改,经过两轮的全面排查,试运行前已全部符合要求。

通过现场检测,本次 9 个未触发台站仪器的安装方位、定位经纬度、供电电压、极性测试均正常,且在地震发生时未发现明显环境异常。因此,排除因仪器安装不规范和周围环境干扰导致的未触发。

### 3 结论与讨论

A-JEEW 与 B-EEW 两套预警子系统在山西阳高 3.9 级地震处理过程中,距震中 50 km 范围内



9个台站存在未触发现象。本文从台站参数、数据传输、波形质量、背景噪声、安装规范等方面逐项进行检测分析,排查各环节存在的问题,得出以下结论与建议

(1) 仪器端、系统端各项参数配置正确,本次未触发原因与台站参数无关。后期如有特殊需要,可以综合考虑地震活动水平和地区特征,合理增设高精度观测台站,满足不同密度的监测预警需要。

(2) 数据传输时延及在线在网状态正常,波形记录正常。连续准时的数据传输和清晰可用的观测波形是预警系统发挥效能的关键因素,需要重点关注,后期应加强对数据延时、波形形态的监控,保障传输质量。

(3) 仪器运行状态和周围观测环境未见明显异常。为保障仪器各个时段正常传导地震动,应尽量通过放置警示标牌、加强地震科普等方式保护台站观测环境。对于长期存在干扰且无法挽救的台站,应尽快迁址。此外还要关注仪器性能,在长期观测中发现不同品牌仪器的稳定可靠程度存在差别,若站点记录质量较差可以考虑更换仪器或安装对比观测仪器。

(4) 震前台站噪声符合规范要求。铁塔基站布置的烈度仪自噪声偏高,观测灵敏度受限,又因本次地震

的震源深度较大,未触发台站距离震中较远,虽正常记录到地震事件,但实际其P波初动记录模糊,未达到预警系统可以准确判定拾检震相到时的标准。

综上所述,9个台站未触发是因其波形记录信噪比未满足预警系统震相识别中的阈值导致的,与参数配置、传输质量和观测环境无关。地震事件是检验预警系统全链条产出质量的首要方式,因此在发生地震后,可以通过上述方法进行分析检测,筛选出存在问题的站点,不断优化改正,排除风险隐患,提升台站运行质量,提高预警系统产出结果的速度和准确性,便于更好的服务社会。

### 参考文献:

- [1] 包文超,赵铁锁,申影,等. 内蒙古地震预警台站异常数据检测与分析[J]. 高原地震,2023,35(2):50-55.
- [2] 窦立婷,李冬梅,任力伟,等. 国家地震烈度速报与预警工程山西子项目综述及应用分析[J]. 山西地震,2019,4(4):52-56.
- [3] 孙业君. 地震台网记录数据质量评估的方法研究与实现[D]. 南京:东南大学,2015.

## Analysis of the Reasons for the Failure to Trigger Stations in the Shanxi Yanggao M3.9 Earthquake Early Warning System

LI Chen<sup>1,2</sup>, LIANG Yongye<sup>1,2</sup>, CHEN Yongxin<sup>1,2</sup>, LIU Wei<sup>1,2</sup>, FENG Kaiyu<sup>1,2</sup>

- (1. Shanxi Seismological Station of Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;
2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** The Shanxi subproject of the National Seismic Intensity Rapid Reporting and Early Warning Project has produced a number of earthquake early warning messages since its completion. However, during the data processing of the warning system, there are a few stations that are close to the epicenter but have not been triggered (not involved in data calculation). Through analysis and discussion of the possible reasons for the non triggering of the station parameters, data transmission delay, observation data quality, observation environment, and other aspects of the M3.9 earthquake event in Yanggao, Shanxi on May 19, 2024, it is concluded that the correct configuration and observation quality standards of the non triggering station may be related to its signal-to-noise ratio not meeting the threshold for seismic phase identification.

**Key words:** earthquake warning; station not triggered; detection and analysis

# 2023年山西清徐M3.7地震预警处理结果分析

冯凯宇<sup>1,2</sup>, 梁永焯<sup>1,2</sup>, 吕睿<sup>1,2</sup>, 刘雪娇<sup>1,2</sup>, 窦立婷<sup>1,2</sup>

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

**摘要:** 2023年11月30日3时44分, 山西太原市清徐县发生M3.7地震, 震后SX-JEEW处理软件产出55次处理结果, SX-EEW处理软件产出36次处理结果, 中国地震预警网一级决策系统产出预警信息1报, 与中国地震台网正式目录相比, 震中位置偏差0 km, 震级偏大0.3。对此地震事件中两套预警软件的处理结果进行分析, 计算50 km内共83个预警台站的信噪比, 发现在地震处理过程中, JEEW触发阈值比EEW略低, 台站触发稳定性更高; 两套处理软件多个处理结果P波到时拾取准确, 自动拾取算法可靠性高; 处理结果发震时刻和震中位置偏差较小, 能够满足地震预警定位可靠性和准确性要求, 但两套处理软件产出首报预警结果震级都有一定偏差, 后续随着参与计算台站的增加, EEW产出预警震级逐渐收敛于编目结果, JEEW产出预警震级则表现为一直偏大, 表明预警系统震级算法仍需完善。

**关键词:** 地震预警; 预警处理能力; 山西清徐M3.7地震

**中图分类号:** P315.63

**文献标志码:** A

## 0 引言

地震预警是减轻地震灾害的有效手段之一, 在应对灾害方面能发挥重要作用。主要原理是利用电磁波传播速度快于地震波, 根据震中附近的地震台所记录到最早到达的地震波信息快速计算地震三要素、影响范围及其破坏程度, 并抢在破坏性地震波到达之前发布预警信息<sup>[1]</sup>。近年来, 山西省地震局依托“国家地震烈度速报与预警工程山西子项目”建立山西地震预警网, 实现地震预警功能。

山西地震预警系统目前安装部署两套地震处理软件, 分别为深圳防灾减灾技术研究院研发的JEEW超快速报与预警系统(以下简称JEEW软件)和福建省地震局研发的EEW地震预警系统(以下简称EEW软件), 两套处理软件都可实时接收测震计、加速度计和烈度仪三类不同台站类型的数据, 利用地震预警定位算法和震级快速估算方法实现地震预警。2023年11月30日3时44分, 山西太原市清徐县(37.53°N, 112.47°E)发生M3.7地震, 震后7.3 s山西地震预警二级决策系统完成预警信息第一报的报送, 后续SX-JEEW和SX-EEW处理软件分别产出多个预警结果。此研究主要对JEEW和EEW处理软件产出结果进行系统分析, 并与中国地震台网正式目录结果进行对比, 验证山西地震预警系统的可靠性, 对未来预警技

术的改进和应用提供参考依据。

## 1 山西预警台网现状

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目共建设台站1 096个, 其中基准站81个, 基本站154个, 一般站861个, 全省三类台站平均台间距为11.9 km(见图1)<sup>[2]</sup>。三类台站配备不同类型的传感器, 基准站同时配备频带较宽、动态范围较大的速度计和加速度计, 测量速度和加速度物理量; 基本站配备动态范围较大的加速度计, 测量加速度物理量; 一般站建设在铁塔基站上, 配备频带相对较窄、动态范围较小的烈度仪传感器, 测量加速度物理量。

## 2 产出情况

2023年11月30日3时44分, 山西太原市清徐县发生3.7级地震, 此地震在中国地震台网正式目录为: 发震时刻2023年11月30日3时44分10.7秒, 震中纬度37.53°N, 震中经度112.48°E, 深度24 km, 震级(M)3.7。

本次地震SX-JEEW总计产出55次预警结果, 在30 s内产出41次预警结果, 震后6.9 s产出第1次地震预警结果, 与正式目录相比, 震级偏差0.3, 位置偏差2.8 km, 部分处理结果如表1所示。

收稿日期: 2024-07-08

第一作者简介: 冯凯宇(1992—), 男, 山西方山人。硕士研究生, 助理工程师, 主要从事地震监测预报预警工作, Email: fkyxdz@163.com。

通讯作者: 梁永焯(1989—), 女, 山西太原人。硕士研究生, 工程师, 主要从事地震监测预报预警工作, E-mail: 949464708@qq.com。

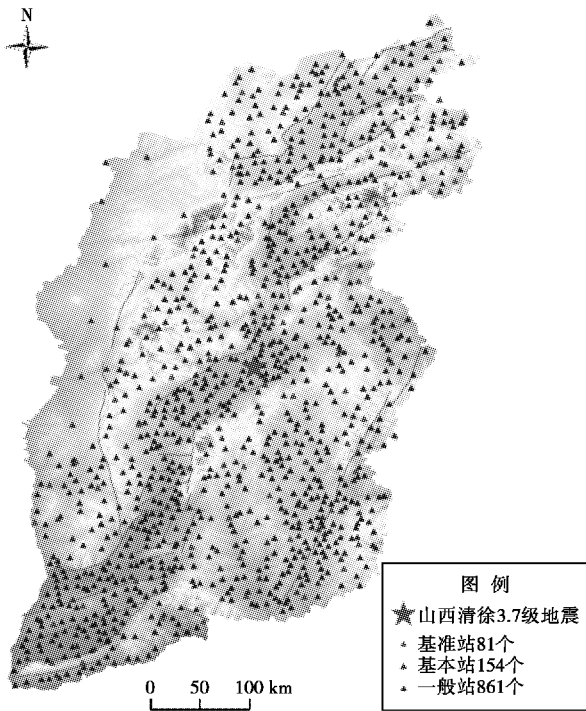


图1 国家预警工程山西预警子项目三类台站分布图  
Fig.1 Distribution of three types of stations in the Shanxi early warning sub project of the national early warning project

本次地震 SX-EEW 总计产出 3 次预警结果,在 30 s 内产出 36 次预警结果,震后 7.2 s 产出第 1 次地震预警结果,震级偏差 -0.3,与正式目录相比,位置偏差 2.4 km,部分处理结果如表 2 所示。

震后 7.4 s,中国地震预警网一级决策系统(CB)共发布 1 报预警信息(见表 3),由 SX-EEW、SX-JEEW、ZB-JEEW 系统参与决策,与正式目录相比,震中位置偏差 0 km,震级偏大 0.3。

可以看出,决策系统结果中震中位置及发震时刻偏差较小,震级偏差 0.3,用时比 JEEW 的第一次结果慢 0.5 s,主要原因为预警决策系统结果需要两套不同处理软件处理并经两家单位产出后进行融合,此预警信息结果的定位结果为 JEEW 产出第 3 报与 EEW 产出第 1 报融合产生,而震级结果为灾备中心的 JEEW 软件产生。

### 3 数据分析

#### 3.1 台站触发情况

由于地震预警要求高度的时效性,且本次地震震级相对较小,因此本文主要根据人工编目结果中的台站信噪比、初至波走时,结合预警系统处理结果,研究本次地震事件震中 50 km 内预警台站的信噪比和处理软件中的 P 波震相到时,并对两套预警处理软件的台站触发情况做简要分析。

表 1 JEEW 处理情况表  
Table 1 JEEW processing status table

处理序号	发震时刻	用时(s)	台站数	纬度(°)	经度(°)	震级(M)	深度(km)	震级偏差	位置偏差(km)
	年-月-日 T时:分:秒								
1	2023-11-30T03:44:12.10	6.9	6	37.51	112.50	4.0	16.9	0.3	2.8
6	2023-11-30T03:44:10.09	8.6	25	37.53	112.48	4.1	32.2	0.4	0.0
11	2023-11-30T03:44:10.52	11.0	40	37.54	112.48	4.0	28.5	0.3	1.1
16	2023-11-30T03:44:10.56	12.7	50	37.54	112.48	3.9	28.2	0.2	1.1
21	2023-11-30T03:44:10.74	15.3	69	37.54	112.48	3.9	26.5	0.2	1.1
26	2023-11-30T03:44:10.80	17.6	83	37.54	112.48	4.0	25.9	0.3	1.1
31	2023-11-30T03:44:10.88	20.5	99	37.54	112.48	3.9	24.9	0.2	1.1
36	2023-11-30T03:44:10.93	24.1	111	37.54	112.48	3.9	24.2	0.2	1.1
41	2023-11-30T03:44:10.99	29.3	121	37.54	112.48	3.9	23.5	0.2	1.1
46	2023-11-30T03:44:11.04	35.1	130	37.54	112.48	3.9	22.9	0.2	1.1
51	2023-11-30T03:44:11.06	42.1	140	37.55	112.48	4.0	22.6	0.3	2.2
55	2023-11-30T03:44:11.06	91.6	144	37.55	112.47	3.9	22.6	0.2	2.4

#### 3.1.1 信噪比

地震预警系统中地震事件判别和定位主要通过 P 波震相的自动拾取来进行,其原理为通过长短时间窗平均方法(STA/LTA)判定震相到达的粗略时间,再用固定窗 AIC 准则来精确拾取进行地震定位,因此预警台站信噪比(地震波有效值与台基噪声有效值之比)直接影响其在预警数据处理过程中的触发情况<sup>[3]</sup>。

本次地震事件震中 50 km 内预警台站共 83 个,

其中基准站 6 个,基本站 19 个,一般站 58 个,由于该地震事件发生时有 3 个改造基准站只接入加速度计,因此本次地震预警系统处理使用的仪器为速度计 3 个,加速度计 22 个,烈度仪 58 个。通过对 50 km 内共 83 个预警台站的信噪比进行计算可知,此次地震基准站的平均信噪比为 457 dB,其中最大为距震中 21 km 的 TIGHC 台,信噪比为 1 152 dB;最小为距震中 19 km 的 JYMJC 台信噪比为 77 dB,信噪比相对较

小的原因主要为该台为改造基准站,未接入速度计。基本站的平均信噪比为 115 dB,其中最大为距震中 15 km 的 AQ001 台,信噪比为 492 dB;最小为距震中 45 km 的 KY001 台,信噪比为 6 dB,信噪比较小的原

因主要为该台台基噪声相对较高。一般站的平均信噪比为 6 dB,其中最大为距震中 2 km 的 A002D 台,信噪比为 25 dB;最小为距震中 40 km 的 K001A 台,信噪比仅为 1.2 dB。

表 2 EEW 处理情况表

Table 2 EEW processing status table

处理序号	发震时刻(年-月-日 T时:分:秒)	用时(s)	台站数	纬度(°)	经度(°)	震级(M)	深度(km)	震级偏差	位置偏差(km)
1	2023-11-30T03:44:12.0	7.3	10	37.51	112.49	3.4	15	-0.3	2.4
6	2023-11-30T03:44:12.0	9.7	25	37.54	112.48	3.5	15	-0.2	1.1
11	2023-11-30T03:44:11.9	12.3	32	37.54	112.48	3.7	15	0	1.1
16	2023-11-30T03:44:11.2	14.9	44	37.54	112.47	3.7	20	0	1.4
21	2023-11-30T03:44:11.2	17.3	47	37.54	112.47	3.7	20	0	1.4
26	2023-11-30T03:44:11.2	19.9	47	37.54	112.47	3.7	20	0	1.4
31	2023-11-30T03:44:11.2	22.4	47	37.54	112.47	3.7	20	0	1.4
36	2023-11-30T03:44:11.2	27.1	47	37.54	112.47	3.7	20	0	1.4

表 3 山西中心预警决策系统产出情况

Table 3 Output of Shanxi central early warning decision system

产出单位	处理软件	发震时刻	纬度(°)	经度(°)	深度(km)	震级(M)	台站数	用时(s)	震中位置偏差(km)	震级偏差(M)	首台	首台用时(s)
		年-月-日 T时:分:秒										
中国地震预警网	一级决策	2023-11-30T03:44:10.0	37.53	112.48	32	4.0	14	7.4	0.8	0.3		
山西台网	二级决策	2023-11-30T03:44:10.0	37.53	112.48	32	3.9	14	7.3	0	0.2		
	SX-EEW	2023-11-30T03:44:12.0	37.51	112.49	10	3.3	11	7.3	2.4	-0.3	SX/A002D	2.8
	SX-JEEW	2023-11-30T03:44:10.0	37.53	112.48	32	3.9	14	7.3	0	0.2	SX/A002D	2.9
灾备中心	二级决策	2023-11-30T03:44:13.4	37.50	112.50	5	4.0	5	6.9	4.2	0.3		
	ZB-JEEW	2023-11-30T03:44:13.4	37.50	112.50	5	4.0	5	6.9	4.2	0.3	SX/A002D	2.5

此次处理过程中 SX-JEEW 在 50 km 内未触发台站数为 36 个,台站触发率 57%;SX-EEW 在 50 km 内未触发台站数为 51 个,台站触发率 39%。

图 2 和图 3 分别为 JEEW 和 EEW 处理软件台站触发及信噪比情况,可以看出,JEEW 在震中距 20 km 内台站触发率较高,仅有 2 个台站未触发,触发率为 90%;EEW 在震中距 20 km 内台站触发率相对较低,有 8 个台站未触发,触发率为 60%。从两套处理软件触发台站的信噪比阈值来看,JEEW 触发阈值相对较低,触发台站最低信噪比为 4.8 dB。假设以此为台站触发最低阈值,检验 50 km 内信噪比大于 4.8 dB 的台站触发情况,可知在此次地震事件震中距 50 km 内 JEEW 台站触发率为 87%;EEW 触发阈值相对较高,触发台站最低信噪比为 6.2 dB。同样假设以此为台站触发最低阈值,检验 50 km 内信噪比大于 6.2 dB 的台站触发情况,可知在此次地震事件震中距 50 km 内台站触发率为 71%,同时由图 3 可知,有 5 个台站尽管信噪比远大于该触发阈值,但 EEW 系统仍未触发。可见,在本次地震事件的软件处理过程中,JEEW 的台站触发稳定性更高。

### 3.1.2 P 波震相到时

由于 P 波作为初至波组,一般不受其他波组影响

容易拾取,信噪比较高,拾取精度也较高。P 波震相的自动拾取可用于地震预警中地震事件判别和定位,是实现地震预警的首要条件<sup>[3-5]</sup>。

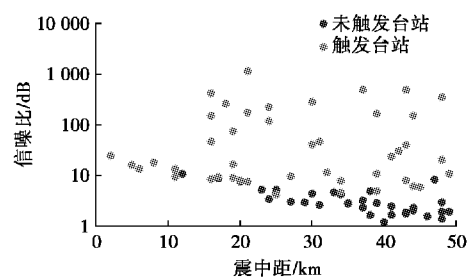


图 2 JEEW 预警系统触发台站信噪比图

Fig. 2 Signal to noise ratio of stations triggered by JEEW warning system

根据人工拾取 50 km 范围内编目结果中的 Pg 波震相和两套预警处理软件自动拾取的 P 波震相到时,绘制触发台站 P 波震相到时与震中距的拟合图。如图 4 所示,在清徐地震的预警处理中,预警系统所用台站的震相与人工拾取的震相吻合度较好,到时差都在 0.5 s 以内,无明显偏离的台站,说明 JEEW 和 EEW



的台站 P 波到时拾取准确,表明两套处理软件的自动拾取算法可靠性较高。

最小,仅偏差 0.5 s,后续处理结果稳定,整体偏差较小,准确性较高。

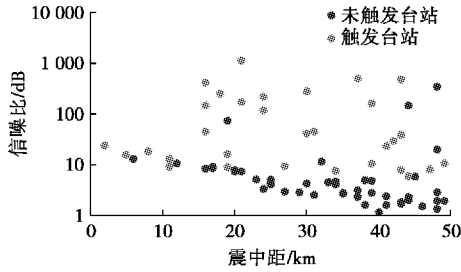


图3 EEW 预警系统触发台站信噪比图  
Fig. 3 Signal to noise ratio of stations triggered by EEW warning system

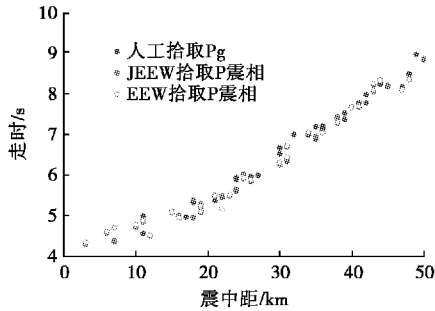


图4 P 波震相到时与震中距拟合图  
Fig. 4 Fitting diagram of P-wave earthquake phase arrival time and epicenter distance

### 3.2 产出结果分析

为保证地震预警系统具有高度的时效性和在定位方面高度的可靠性,在运行过程中需对两套预警系统产出结果及中国地震台网正式目录结果的发震时刻、震中位置和震级进行对比分析,评估山西地震预警定位结果的准确性<sup>[6-8]</sup>。

#### 3.2.1 发震时刻偏差

通过计算 JEEW 和 EEW 预警处理软件每次产出的发震时刻与中国地震台网正式目录结果发震时刻之差得到发震时刻偏差(见图 5)。

本次地震 JEEW 发震时刻偏差范围为 -0.5~1.5 s,其中首报产出结果偏差最大为 1.5 s,随着计算台站的增加,发震时刻偏差逐渐减小,第 17~21 次产出结果发震时刻偏差与中国地震台网正式目录结果一致,后续处理结果中发震时刻偏差略微增大,整体偏差较小,准确性较高。

本次地震 EEW 发震时刻范围为 0.5~2.1 s,其中第 2 报产出结果偏差最大为 2.1 s,随着计算台站的增加,发震时刻偏差逐渐减小,第 20 次产出结果偏差

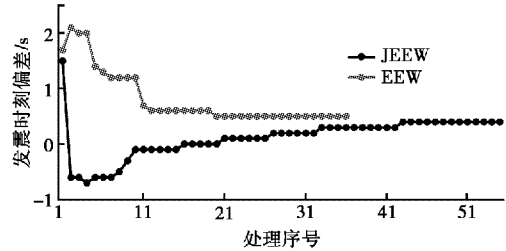


图5 JEEW 和 EEW 预警系统发震时刻偏差图  
Fig. 5 Deviation diagram of earthquake occurrence time between JEEW and EEW warning systems

#### 3.2.2 震中位置偏差

通过计算 JEEW 和 EEW 预警处理软件每次产出结果与中国地震台网正式目录结果之间的距离得到震中位置偏差(见图 6)。

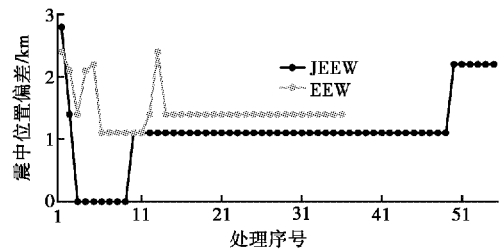


图6 JEEW 和 EEW 预警系统震中位置偏差图  
Fig. 6 JEEW and EEW early warning system epicenter position deviation diagram

本次地震 JEEW 震中偏差范围为 0~2.8 km,其中首报产出结果震中位置偏差最大为 2.8 km,震中附近 6 个台站参与定位,其中 1 个基本站,5 个一般站。随着参与计算台站的增加,震中位置偏差也进一步减小,第 3~8 次产出结果震中位置偏差为 0 km。随着更多较远台站的参与,处理结果中震中位置偏差略微增大,但整体定位偏差较小,结果稳定。

本次地震 EEW 震中偏差范围为 1.1~2.8 km,其中首报产出结果震中位置偏差最大,为 2.4 km,震中附近 10 个台站参与定位,其中 1 个基准站,3 个基本站,6 个一般站。随着参与计算台站的增加,震中位置偏差也进一步减小,第 6~11 次产出结果震中位置偏差为 1.1 km。随着更多较远台站的参与,处理结果中震中位置偏差略微增大,但整体定位偏差较小,结果稳定。

#### 3.2.3 震级偏差

本文通过计算 JEEW 和 EEW 预警处理软件每次

产出的震级( $M$ )与中国地震台网正式目录结果震级( $M$ )之差得到震级偏差(见图7)。

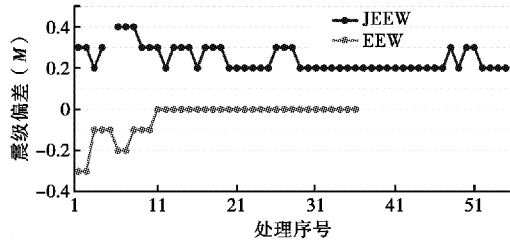


图7 JEEW 和 EEW 预警系统震级偏差图  
Fig. 7 Magnitude deviation diagram of JEEW and EEW early warning systems

本次地震 JEEW 震级( $M$ )偏差范围为 0.2~0.4,其中首报产出结果偏差 0.2,第 5~8 次结果偏差最大,偏差 0.4,随着参与计算台站的增加,震级偏差逐渐减小,第 11 报以后结果趋于稳定,偏差在 0.2~0.3 之间,与中国地震台网正式目录相比,JEEW 震级有整体偏大的特点。由于 JEEW 震级估算方式为前几秒(3~10 s)以估算 P 波最大位移振幅得到  $P_d$  震级为主,后续 S 波最大振幅到达后,以最大振幅估算地方震震级  $M_L$  为主<sup>[9]</sup>。

为探讨 JEEW 震级测定偏差原因,本文对震中距 50 km 内 JEEW 触发台站的首次估算震级及终报震级进行对比分析(由于 JEEW 产出结果中台站震级为  $M_L$ ,本次计算的  $M$  震级均由  $M_L$  转换所得)。从表 4 可以看出,JEEW 估算预警震级时主要使用的速度计、加速度计和烈度仪首次触发估算平均震级比终报平均震级大,其中台网密度较大的加速度计和烈度仪更加明显,平均震级大 0.3~0.4,由于预警系统处理过程中主要采用加速度计和烈度仪等强震动记录进行处理,因此可能会造成前几报震级偏大的情况。在后续处理过程中,因一直有新的台站参与触发,造成预警结果一再偏大。同时本次地震震中处于太原盆地内部,黄土覆盖层较厚,震中距 150 km 内台站大多处于盆地以外,地形、地质条件复杂,可能受软件量规函数与震级拟合公式影响,造成地震震级估算有所偏差。

表 4 JEEW 系统触发台站震级结果

Table 4 JEEW system triggered station magnitude results

仪器类型	预警首次触发估算平均震级( $M$ )	预警终报平均震级( $M$ )
速度计	3.2	3.1
加速度计	3.7	3.4
烈度仪	3.9	3.5

本次地震 EEW 震级( $M$ )偏差范围为 -0.3~0,其中首报产出结果偏差最大,偏差为 -0.3,此后随着

参与计算台站的增加,震级偏差逐渐减小,第 11 报以后结果趋于稳定,与中国地震台网正式目录震级相同,表明 EEW 测定震级具有较好的稳定性和准确性。EEW 的震级测定以 P 波最大位移振幅连续估算  $P_d$  震级为主,首报的测定结果从 P 波第三秒开始。地震发生后,预警震级是在综合各台站测定结果时,根据各台站测定震级的可靠性加权平均得到,因为各台站 P 波触发时间不一致,测定震级的时间也不一致<sup>[10-11]</sup>。为与 JEEW 进行对比,本文也对震中距 50 km 内 EEW 触发台站的首次估算震级及终报震级进行对比分析。从表 5 可以看出,EEW 估算预警震级时主要使用的速度计、加速度计和烈度仪首次触发估算平均震级比终报平均震级偏小,与 EEW 首报震级偏小随后逐渐增大的趋势一致。其中台网密度较大的加速度计和烈度仪估算震级稳定,首次触发震级与终报震级相差不大,但速度计首次触发估算震级偏小,原因还需进一步探讨。

表 5 EEW 系统触发台站震级结果

Table 5 EEW system triggered station magnitude results

仪器类型	预警首次触发估算平均震级( $M$ )	预警终报平均震级( $M$ )
速度计	2.1	2.9
加速度计	3.7	3.8
烈度仪	3.6	3.8

## 4 结论与讨论

2023 年 11 月 30 日 3 时 44 分,山西太原市清徐县发生 M3.7 地震,震后山西预警系统产出多个处理结果。本次研究主要对 JEEW 和 EEW 预警处理软件产出结果进行系统分析,得出如下结论:

(1) 本次地震事件 SX-JEEW 预警处理软件产出 55 次处理结果,SX-EEW 处理软件产出 36 次处理结果;中国地震预警网一级决策系统产出预警信息 1 报,由 SX-EEW、SX-JEEW、ZB-JEEW 系统参与决策,与中国地震台网正式目录相比,震中位置偏差 0 km,震级偏大 0.3。

(2) 本次事件两套预警处理软件的台站触发分析结果表明,JEEW 触发阈值比 EEW 略低,台站触发稳定性更高。

(3) JEEW 和 EEW 台站 P 波到时拾取准确,表明两套处理软件的自动拾取算法可靠性较高。

(4) 两套预警处理软件对本次地震的产出结果与中国地震台网正式目录结果的发震时刻、震中位置和震级对比分析结果表明,JEEW 和 EEW 处理结果在本次地震中适用性较好,发震时刻和震中位置偏差较小,能够满足地震预警定位可靠性和准确性要求。震级方面,两套预警处理软件首报产出结果都有一定偏

差,随着参与计算台站的增加,EEW 产出预警震级逐渐收敛于编目结果,JEEW 产出预警震级则表现为持续偏大,表明预警震级算法仍有待改进,以使预警震级更加准确。

### 参考文献:

- [1] 张红才,金星,李军,等.地震预警系统研究及应用进展[J].地球物理学进展,2013,28(2):706-719.
- [2] 窦立婷,李冬梅,任力伟,等.国家地震烈度速报与预警工程山西子项目综述及应用分析[J].山西地震,2019(4):52-56.
- [3] 马强,金星,李山有,等.用于地震预警的P波震相到时自动拾取[J].地球物理学报,2013,56(7):2313-2321.
- [4] 金星,张红才,李军,等.地震预警连续定位方法研究[J].地球物理学报,2012,55(3):925-936.
- [5] 金星.地震预警与烈度速报——理论与实践[M].北京:科学出版社,2021.
- [6] 李丹宁,张国权,缪素秋,等.2021年云南漾濞  $M_s 6.4$  地震预警处理结果分析[J].地震研究,2021,44(3):399-406.
- [7] 徐佳静,张雅茜,席楠,等.2023年山东平原  $M_s 5.5$  地震预警处理结果分析[J].地震地磁观测与研究,2023,44(6):20-26.
- [8] 冯凯宇,吕睿,刘雪娇,等.山西地震预警系统数据处理结果浅析[J].科学技术创新,2023,(3):76-79.
- [9] 王莉婵,毛国良,李小军,等.2020年7月12日唐山  $M_s 5.1$  地震预警处理能力分析[J].中国地震,2020,36(3):394-406.
- [10] 张红才,金星,李军,等.地震预警震级计算方法研究综述[J].地球物理学进展,2012,27(2):464-474.
- [11] 金星,张红才,李军,等.地震预警震级确定方法研究[J].地震学报,2012,34(5):593-610+727.

## Analysis of the Early Warning Processing Results for the 2023 Qingxu $M3.7$ Earthquake in Shanxi Province

FENG Kaiyu<sup>1,2</sup>, LIANG Yongye<sup>1,2</sup>, LV Rui<sup>1,2</sup>, LIU Xuejiao<sup>1,2</sup>, DOU Liting<sup>1,2</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** At 3:44 on November 30, 2023, the  $M3.7$  earthquake occurred in Qingxu County, Taiyuan City, Shanxi Province. After the earthquake, the SX-JEEW processing software produced 55 processing results, the SX-EEW processing software produced 36 processing results, and the first level decision-making system of the China Earthquake Early Warning Network produced a report of early warning information. Compared with the official catalog of the China Earthquake Networks Center, the epicenter position deviation was 0 km, and the magnitude was 0.3 larger. The processing results of two sets of warning software in this earthquake event were analyzed, and the signal-to-noise ratio of 83 warning stations within 50km was calculated. It was found that the JEEW triggering threshold was slightly lower than EEW during the earthquake processing, and the station triggering stability was higher. Two sets of processing software can accurately pick up P-waves with multiple processing results, and the automatic picking algorithm has high reliability. The deviation between the time of earthquake occurrence and the epicenter location in the processing results is relatively small, which can meet the reliability and accuracy requirements of earthquake warning positioning. However, both sets of processing software have a certain deviation in the initial warning result magnitude. As the number of participating calculation stations increases, the EEW output warning magnitude gradually converges to the cataloging results, while the JEEW output warning magnitude shows a consistently large deviation, indicating that the magnitude algorithm of the warning system still needs to be improved.

**Key words:** earthquake warning; processing capacity of warning; Shanxi Qingxu  $M3.7$  earthquake

# 山西地震预警站网数据质量评估

丁大业<sup>1,2</sup>, 宫卓宏<sup>1,2</sup>, 徐博<sup>1,2</sup>, 张文瑛<sup>3</sup>

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025; 3. 内蒙古师范大学, 内蒙古 呼和浩特 010000)

**摘要:** 秒级地震预警信息发布和分钟级地震烈度速报服务要求高密度的预警台站分布及高质量的预警站网实时波形记录。面对数量庞大的预警台站, 仅依靠人工监测方式难以第一时间发现波形异常台站, 无法保证站网的观测数据质量。以在网运行的山西预警基准站、基本站、一般站的连续波形记录为基础, 分别采用噪声功率谱分析法及以加速度噪声峰值 PGA、速度噪声峰值 PGV 和位移噪声峰值 PGD 为指标评估山西预警站网三类站点的噪声水平, 并用噪声功率谱面积占比法定量评估三类站点噪声水平。根据评估结果, 对波形异常的站点进行排查处置, 有助于台网运维人员及时发现异常站点及采取有效措施排除异常, 提升站网观测数据质量及预警能力。

**关键词:** 预警站网; 数据质量; 噪声功率谱; PGA; PGV; PGD

**中图分类号:** P315.73

**文献标志码:** A

## 0 引言

随着国家烈度速报与预警工程山西子项目的完工, 山西省地震局建成了由 81 个基准站、154 个基本站和 861 个一般站组成的台站间距达 12 km 左右的高密度地震监测预警站网(见图 1)。秒级地震预警信息发布和分钟级地震烈度速报服务<sup>[1]</sup>不仅要求布设高密度的预警台站, 而且对预警站网的数据质量提出更高要求。基准站配置速度计及加速度计, 基本站配置加速度计, 一般站配置烈度计<sup>[2]</sup>。通过优化配置不同类型的观测仪器, 可为地震烈度速报和预警提供实时、连续、可靠的观测数据。目前, 三类站点数量规模较大, 产出海量观测数据。通过传统人工浏览波形方法不仅耗时费力, 且易出错<sup>[3]</sup>。因此, 迫切需要一种合理的数据质量评估方法。该文分别采用噪声功率谱分析法, 以加速度噪声峰值 PGA、速度噪声峰值 PGV 和位移噪声峰值 PGD 为指标, 评估山西预警站网三类站点的噪声水平, 并采用噪声功率谱面积占比法定量评估三类站点噪声水平, 并根据评估结果, 对波形异常的站点进行分析。研究结果可为台网运维人员及时发现异常站点并采取处置措施, 为提升站网观测数据质量及预警能力提供有效支撑。

## 1 资料选取

目前, 山西预警站网基准站数量 81 个, 在运行 80 个, DAIYK 低噪声超宽频带改造基准站仪器已安

装, 数据暂未接入预警系统; 基本站数量 154 个, 在运行 153 个, DG001 新建基本站由于周围施工干扰, 供电和通信线路中断, 申请暂停观测; 一般站数量 861 个, 在运行 858 个, A0003、A0005、A0023 由于铁塔基站拆除, 周围 3 km 内未找下合适站点而暂停观测。故以在网运行的 1 091 个台站 24 h 连续波形数据为基础, 对每个台站垂直分量的波形记录进行分析处理。

## 2 台站噪声功率谱

### 2.1 噪声功率谱分析

采用噪声功率谱法进行站点噪声水平评估, 主要是用 McNamara 等<sup>[4]</sup>提出的功率谱密度概率函数(PDF)法。具体为: 对台站波形数据进行去均值, 去长周期线性趋势后, 以 5 min 为时间窗, 按 50% 进行重叠截取数据段, 将所有数据段转换成加速度记录后计算, 统计所有段的 PSD 值后, 计算某频点 PSD 值落在某 PSD 取值范围内的记录段个数, 该记录段个数与总记录段个数的比值即为该频点的 PDF<sup>[5]</sup>, 再将各频点的最大概率连接形成 MODE 线, 用来表示某站点的平均噪声水平。该方法在计算时无需剔除地震、爆破、突发事件等干扰, 可直接进行概率统计。

下文以宁武基准站及临近的基本站、一般站为例, 绘制三类站点的台基噪声 PDF 图。图 2 是所选台站速度计、加速度计和烈度计记录的台基噪声 PDF 图, 图中两条蓝色曲线分别表示地球新高噪声新模型线(NHNM)和新低噪声新模型线(NLNM)<sup>[6]</sup>, 右边的色

条表示噪声功率谱密度的概率值对应的颜色,颜色越深概率值越高,黑色 MODE 线为台站每个频点最大概率值的连线,此线越接近 NLNM,表示该台址地噪声水平越低,浅紫色表示如地震、外界扰动等小概率事件的记录<sup>[7]</sup>。由图 2a 可知,基准站速度计的 PSD 曲线介于 NLNM 及 NHNM 之间,PSD 值介于 -170 ~ -130 dB,噪声干扰主要集中在 10 Hz 以上,多与人类

活动相关;基准站加速度计 PSD 曲线在大于 0.1 Hz 时介于 NHNM 及 NLNM 之间。由图 2b 可知,基本站加速度计 PSD 曲线在大于 0.1 Hz 时低于 NHNM,PSD 值介于 -130 ~ -100 dB,且基本站加速度计噪声来源主要为 1 Hz 以上高频干扰。由图 2c 可知,一般站 PSD 曲线完全超出 NHNM,PSD 值介于 -60 ~ -80 dB,无法记录到台基噪声。

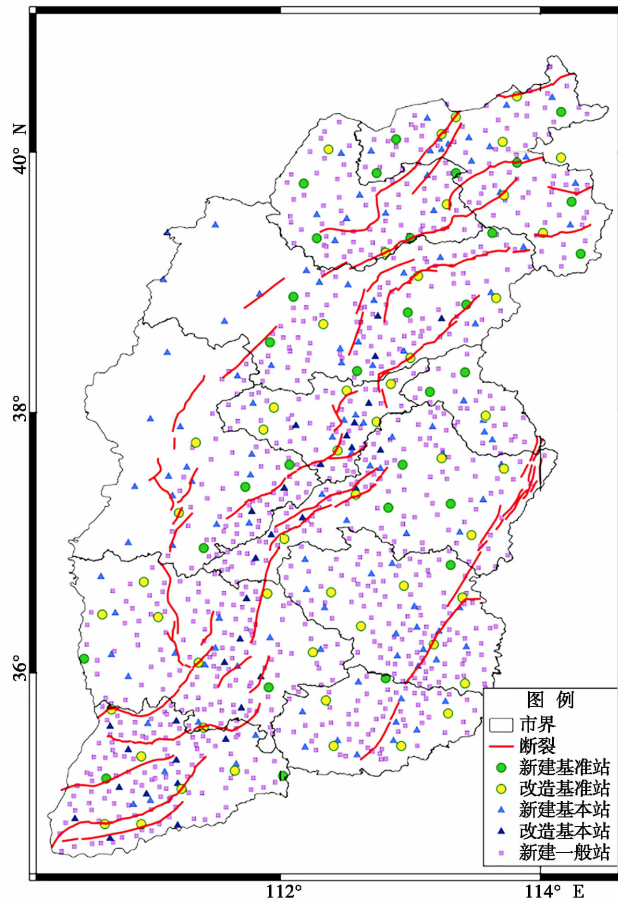


图 1 山西预警站网三类台站分布图

Fig. 1 Distribution of three types of stations in Shanxi early warning station network

图 3 是剔除明显异常台站后,山西预警站网所有台站的 MODE 线叠绘图。图中紫色曲线为速度计的高低噪声基准线,黄色曲线为加速度计的高低噪声模型线,青色曲线为强震计的高低噪声模型线。由计算结果可知,山西预警台网地震计的噪声水平介于 -145 ~ -133 dB,平均噪声水平为 -139 dB;加速度计的噪声水平介于 -133 ~ -90 dB,平均噪声水平为 -116 dB;烈度计的噪声水平介于 -68 ~ -60 dB,平均噪声水平为 -68 dB。

2.2 噪声功率谱面积占比分析

采用噪声功率谱面积占比法<sup>[8]</sup>对三类传感器的噪声水平进行量化,用以评估台站观测数据质量。在 0.1~10 Hz 带宽内,用台站噪声功率谱与 NLNM 线

所占面积比,对台站噪声水平进行量化评估,结果分为 0%~25%、25%~50%、50%~75%、75%~100% 四个等级,每个等级标以不同的颜色,面积占比越小,台站数据质量越好。图 4 为用此方法生成的山西预警三类站网的传感器噪声水平分布图,可更直观地看出不同噪声水平等级台站的分布,便于整体了解台站的数据质量,方便运维人员统计优质台站数量,并对噪声水平异常的台站开展维护,以提升预警站网的观测数据质量。

图 5 是采用噪声功率谱面积占比法计算获得的山西预警台网观测数据质量良好的台站分布图,图中黄色图标是面积占比为 0%~10% 的台站,绿色图标是面积占比为 10%~20% 的台站,紫色图标是面积占比



为20%~25%的台站。在日常的台网运维工作中,对这些数据质量良好的台站重点关注,以确保预警台网

的监测能力和预警能力。

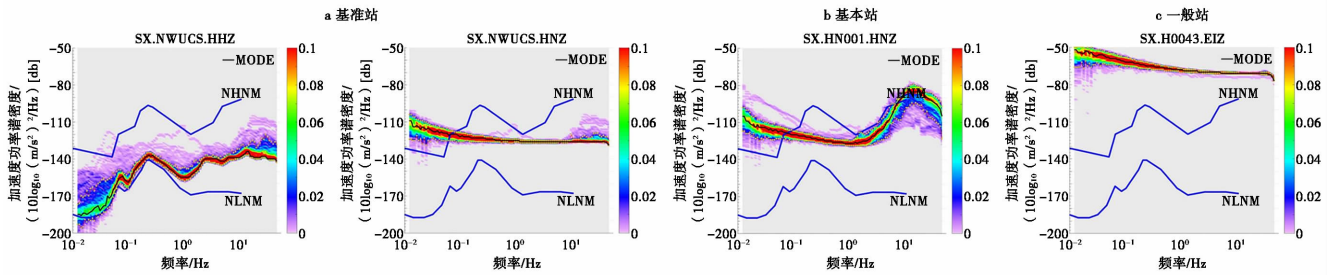


图2 预警三类台站的台基噪声 PDF 图

Fig. 2 PDF of noise at the base of three types of warning stations (a) Base station (b) Basic station (c) General station

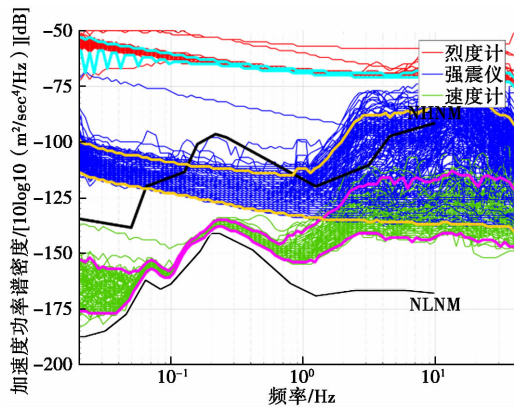


图3 三类传感器噪声功率谱 MODE 线叠绘图

Fig. 3 Schematic line stacking plot of noise power spectrum of three types of sensors

### 3 台站噪声 PGA、PGV 及 PGD

将台站的速度计、加速度计及烈度计的记录统一仿真成 DD-1(周期为 1 s、阻尼比为 0.707)的加速度、速度和位移记录,再以加速度噪声峰值 PGA、速度噪声峰值 PGV 和位移噪声峰值 PGD 为标准进行传感器的噪声评估。先统计每个台站 24 h 台基噪声记录,统一仿真为周期 1 s 的加速度记录、速度记录或者位移记录;再以每个台站每隔 1 min 截取一个样本,分别统计加速度噪声峰值  $PGA_0$ 、速度噪声峰值  $PGV_0$  以及位移噪声峰值  $PGD_0$ ,这样共有  $24 \times 60 = 1440$  个观测结果;最后,通过台站 PGA、PGV 及 PGD 的概率分布,求出该台站最大概率 PGA、PGV 及 PGD,作为该台站传感器的噪声水平<sup>[9]</sup>。

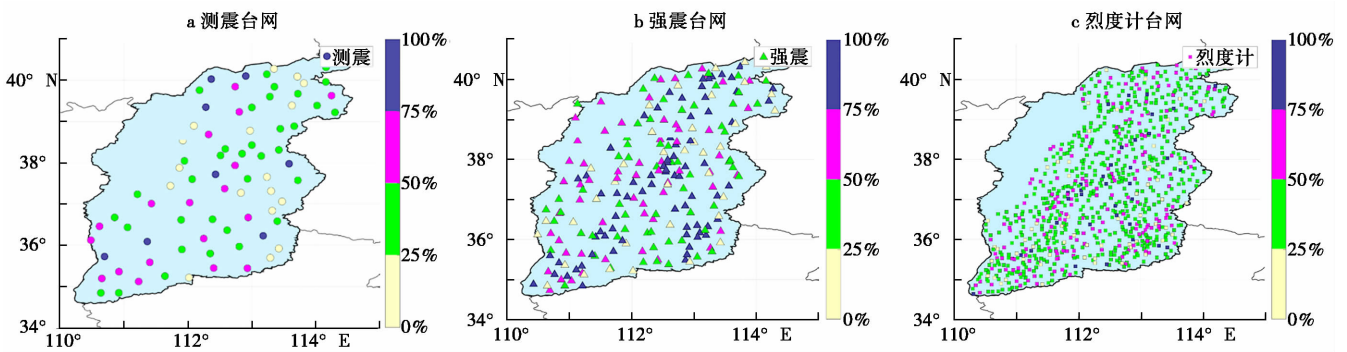


图4 面积占比法噪声评估分布图

Fig. 4 Distribution of noise assessment using area ratio method (a) Seismic network (b) Strong earthquake network (c) Intensity gauge network

图6是以噪声PGA为指标评估速度计、加速度计和烈度计三类传感器的噪声水平,上下两条虚线分别表示台站正常PGA值的上下限。图6a是测震台网所有速度计PGA值的分布图、剔除异常台站后PGA值的直方图及累计概率分布图,取所有速度计PGA值的0%及100%作为正常范围的下限及上限,得到速度计平均PGA值约为0.0009 gal,正常台站的PGA值介于0.00016~0.0073 gal之间;取所有加速度计

PGA值的0%及99%分别作为正常范围的下限及上限,由图6(b)可知,加速度计平均PGA值约为0.0385 gal,正常台站的PGA值介于0.00035~0.256 gal之间。取所有烈度计PGA值的0%和99%作为正常范围的下限及上限,由图6(c)可知,烈度计的平均PGA值大约是0.7 gal,正常台站的PGA值介于0.61~0.9 gal之间。

图7是以噪声PGV为指标评估速度计、加速度计

和烈度计三类传感器的噪声水平,两条红色虚线分别表示台站正常PGV值的上下限。图7(a)是测震台网所有速度计PGV值的分布图、剔除异常台站后PGV值的直方图及累计概率分布图,取所有速度计PGV值的0%及100%作为正常范围的下限及上限,得到速度计平均PGV值约为 $0.14 \mu\text{m/s}$ ,正常台站的PGV值介于 $0.036 \sim 0.63 \mu\text{m/s}$ 之间;取所有加速度计PGV值的0%及99%分别作为正常范围的下限及上限,由图7(b)可知,加速度计平均PGV值约为 $5.5 \mu\text{m/s}$ ,正常台站的PGV值介于 $0.11 \sim 37.5 \mu\text{m/s}$ 之间。取所有烈度计PGV值的0%和99%作为正常范围的下限及上限,由图7c可知,烈度计的平均PGV值大约是 $196 \mu\text{m/s}$ ,正常台站的PGV值介于 $182.3 \sim 221.4 \mu\text{m/s}$ 之间。

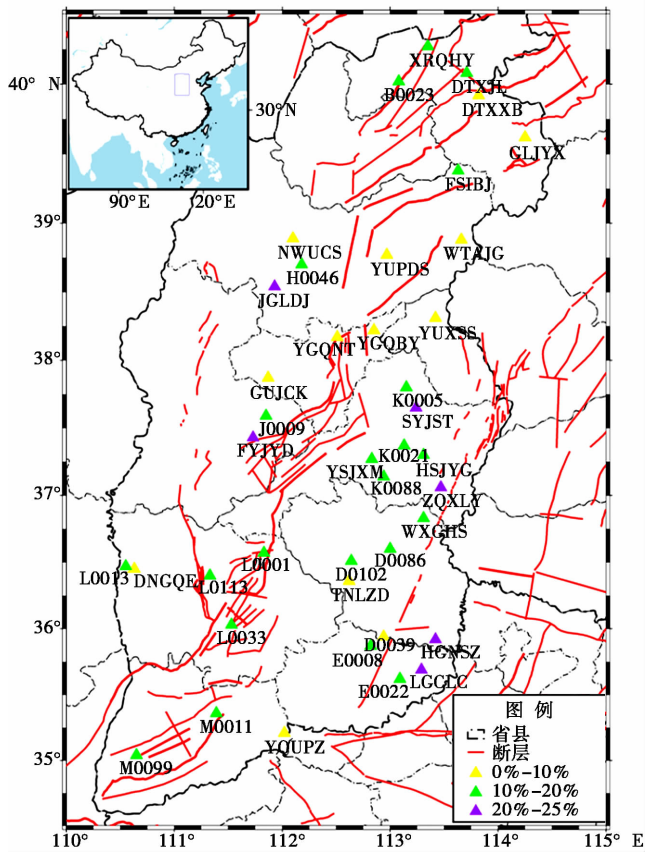


图5 数据质量良好的台站分布图

Fig. 5 Distribution of stations with good data quality

图8是以噪声PGD为指标评估速度计、加速度计和烈度计三类传感器的噪声水平,两条红色虚线分别表示台站正常PGD值的上下限。图8a是测震台网所有速度计PGD值的分布图、剔除异常台站后PGD值的直方图及累计概率分布图,取所有速度计PGD值的0%及100%作为正常范围的下限及上限,得到速度计平均PGD值约为 $0.008 \mu\text{m}$ ,正常台站的PGD值介于 $0.0043 \sim 0.026 \mu\text{m}$ 之间;取所有加速度计PGD值的

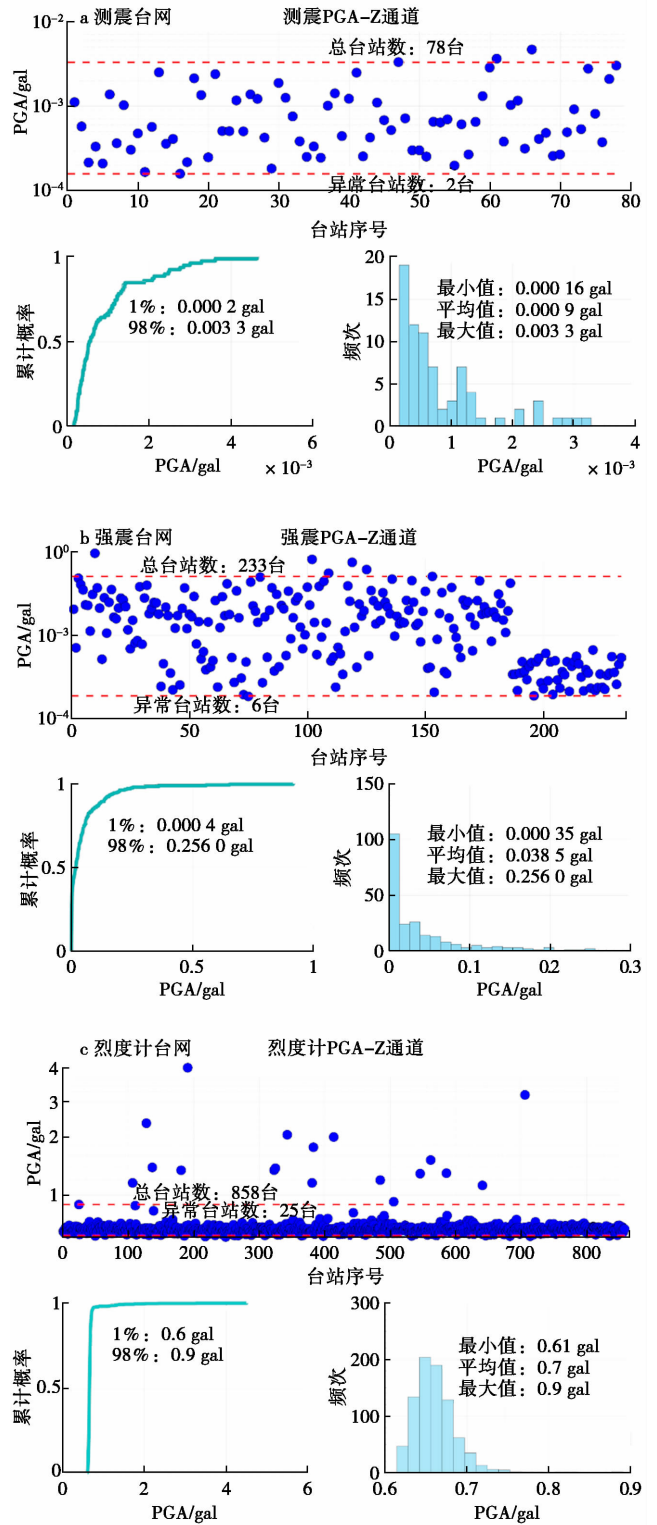


图6 三类传感器PGA值结果统计

Fig. 6 Statistics of PGA values for three types of sensors

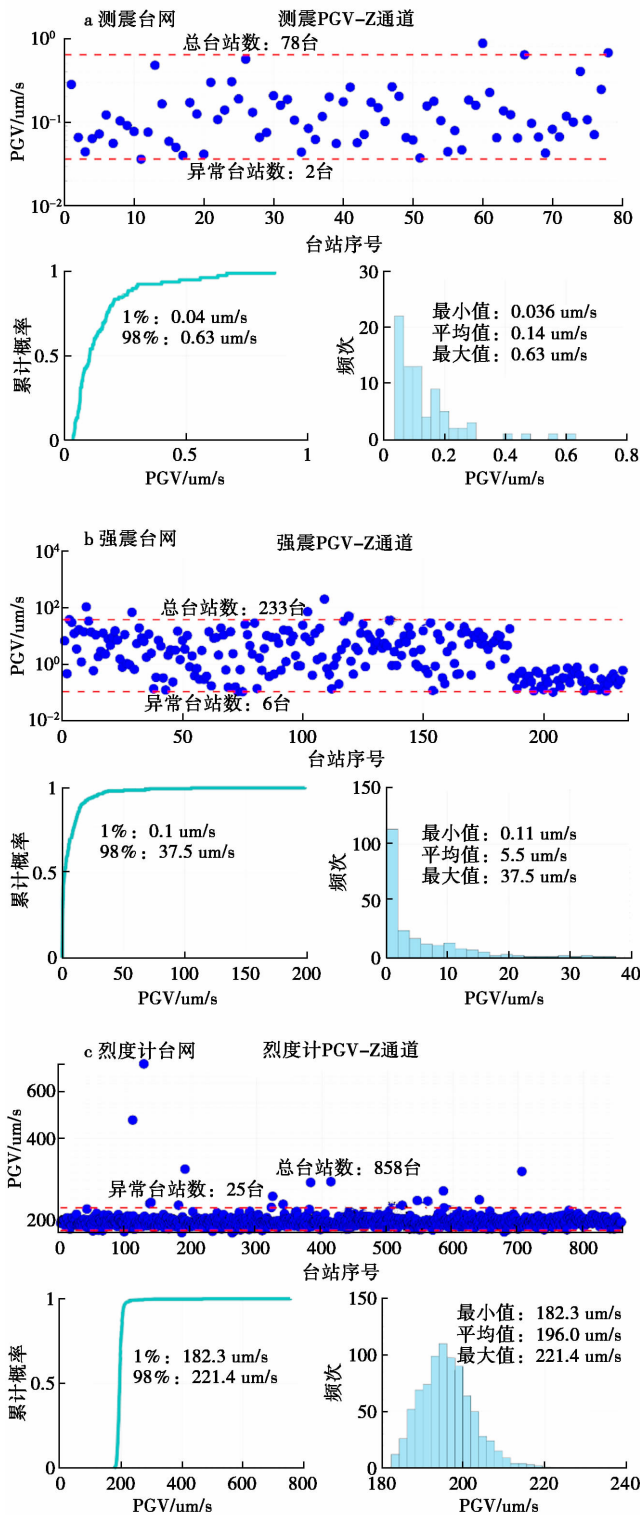


图7 三类传感器PGV值结果统计

Fig. 7 Statistics of PGV values for three types of sensors

0%及99%分别作为正常范围的下限及上限,由图8b可知,加速度计平均PGV值约为0.23 μm,正常台站

的PGD值介于0.034~1.28 μm之间。取所有烈度计PGD值的0%和99%作为正常范围的下限及上限,由图8c可知,烈度计的平均PGD值大约是41.9 μm,正常台站的PGD值介于38.6~45.7 μm之间。

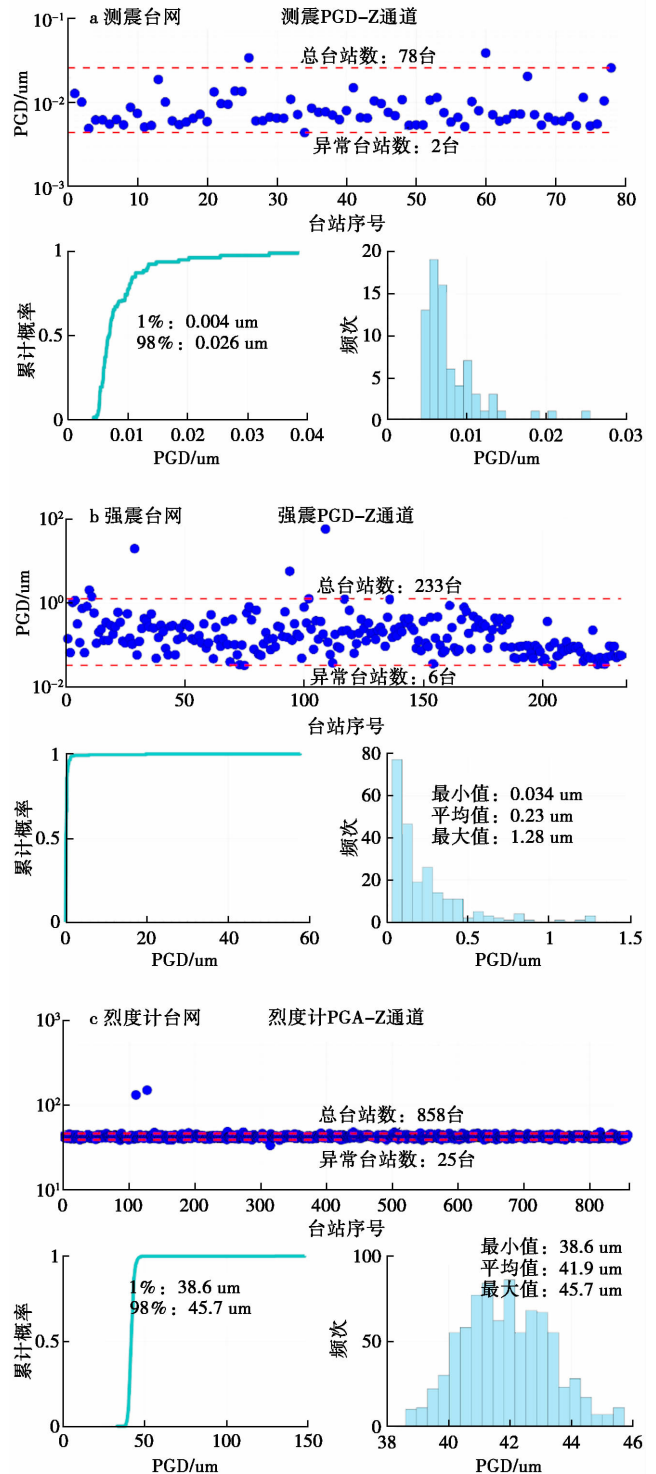


图8 三类传感器PGD值结果统计

Fig. 8 Statistics of PGD values for three types of sensors



### 4 山西预警站网数据质量

以加速度噪声峰值 PGA、速度噪声峰值 PGV 和位移噪声峰值 PGD 为标准,并结合噪声功率谱方法,对山西预警站网数据质量进行评估,能有效判别出波形异常台站,降低人工处理预警台网数据的工作量。采用此方法对三类传感器的噪声水平进行评估后,可识别出部分疑似异常的台站。

YDJJD 基准站速度计 Z 分向零点偏大,约为 2 170 mV,经远程调零后恢复正常,约为 32 mV(见图 9a);HW001 基本站加速度计 Z 分向存在大周期噪声,经远程重启数采后恢复正常(见图 9b);C0005 一

般站烈度计存在单分向尖脉冲干扰,通过更换烈度计后恢复正常(见图 9c);H0005 一般站烈度计三分向波形断续,通过重启烈度计后恢复正常,如图 9d 所示。通过此类评估方法,台网运维人员可将频繁出现波形异常的台站列为重点监控对象,采取频谱分析结合现场排查的方法,理清产生异常的根源,采取诸如检查设备接地、布线情况、安装备机进行同址对比观测等方式,彻查影响波形异常的因素,并将有效的处置经验方法作为案例总结,指导运维人员进行流程化处置,以恢复台站的正常运行,提升站网的观测数据质量及预警能力。

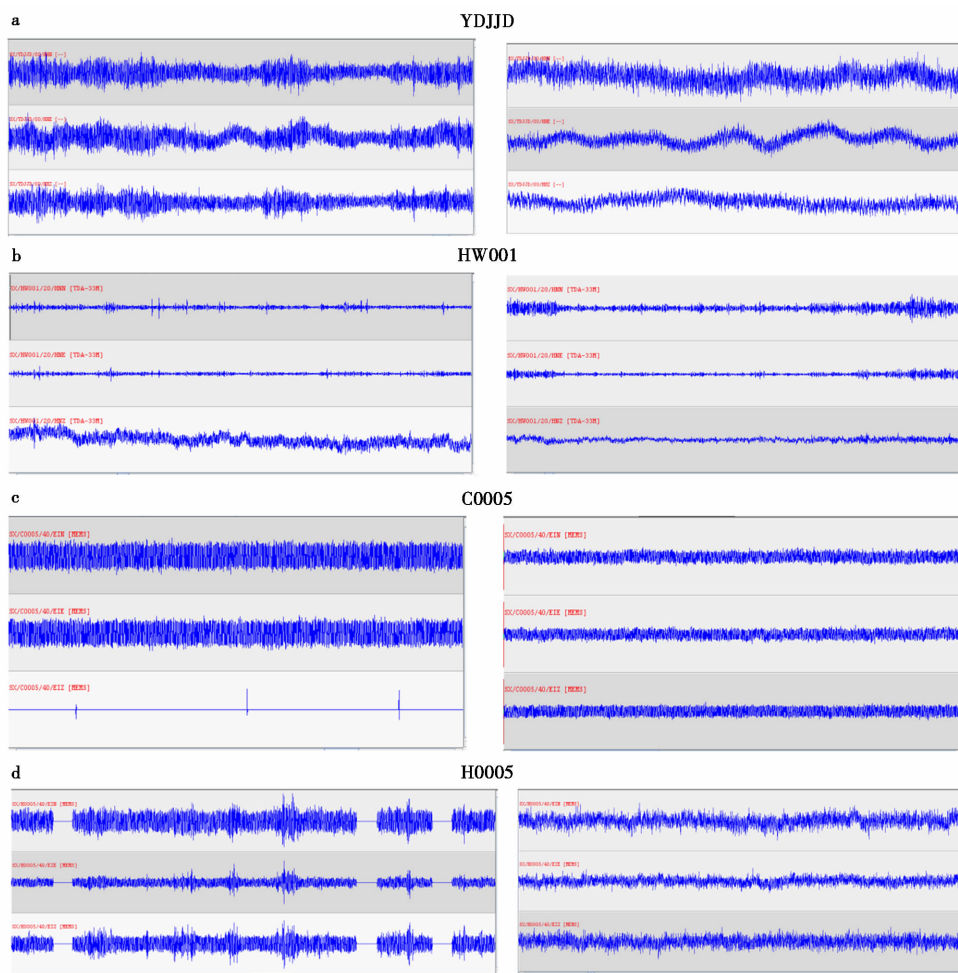


图 9 部分异常台站排查处理前后波形图

Fig. 9 Waveform diagrams of abnormal stations before (left figure) and after (right figure) investigation and processing

### 5 结语

随着山西地震预警工程建设任务的完工,预警站点数量的增加,给日常站网运维工作带来巨大的挑战,

迫切需要采取有效方法对预警站网的观测数据质量进行全面合理评估。采用噪声功率谱法对山西预警站网三类传感器的噪声水平进行评估,同时通过噪声功率谱面积占比法实现噪声水平的定量评估,有利于筛选

优质台站。此外,以加速度噪声峰值 PGA、速度噪声峰值 PGV 和位移噪声峰值 PGD 为标准统计三类传感器的噪声水平,构建台网三类传感器的背景噪声功率谱模型。根据评估结果,并结合实时波形数据,对部分疑似异常的台站进行排查处置,大部分异常台站情况恢复正常。下一步将以此为基础,对尚未处置好的台站进行多方面的排查,并形成经验案例总结,以助运维人员发现异常台站时可采取流程化的处置措施,确保站网稳定运行,提升站网的观测数据质量及预警能力。

致谢 感谢福建省地震局林彬华老师提供的地震监测台网监测与预警能力评估软件,感谢审稿老师提出的宝贵修改意见!

### 参考文献:

- [1] 张建勇,席楠,徐泰然,等. 国家中心地震烈度速报与预警技术平台[J]. 中国地震,2024,40(1):54-68.
- [2] 游秀珍,林彬华,李军,等. 福建地震预警台网观测数据质量评估[J]. 地球物理学进展,2024:1-14.
- [3] 李丽,孟令媛,吴昊昱,等. 晋冀蒙交界地区中强地震前地震活动图像异常特征[J]. 地震研究,2022,45(4):581-591.
- [4] McNamara DE, Buland R P. Ambient noise levels in the continental United States[J]. Bulletin of the Seismological Society of America,2004,94(4):1517-1527.
- [5] 杨亚运,汪建,傅卓,等. 台基观测方式对地震台站背景噪声影响分析[J]. 地震科学进展,2023,53(6):241-250.
- [6] Peterson J. Observations and Modeling of Seismic Background Noise[J]. u. s. geological survey open file report, 1993.
- [7] 丁大业,宫卓宏,董春丽,等. 基于概率功率谱密度的山西地震预警台网地噪声水平计算与分析[J]. 地震地磁观测与研究,2024,45(2):134-142.
- [8] 金星. 地震预警与烈度速报——理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2021:1-362.
- [9] 金星. 地震预警与烈度速报——风险与控制[M]. 北京:科学出版社,2024:1-313.

## Data Quality Assessment of Shanxi Earthquake Early Warning Station Network

DING Daye<sup>1,2</sup>, GONG Zhuohong<sup>1,2</sup>, XU Bo<sup>1,2</sup>, ZHANG Wenying<sup>3</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China; 2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China; 3. Inner Mongolia Normal University, Huhehot, Inner Mongolia 010000, China)

**Abstract:** The release of second level earthquake warning information and the rapid reporting service of minute level earthquake intensity require the establishment of high-density warning stations and high-quality real-time waveform recording of the warning station network. Faced with a large number of warning stations, relying solely on manual monitoring methods is difficult to detect waveform anomaly stations in a timely manner, and cannot guarantee the quality of observation data in the station network. Based on the continuous waveform records of Shanxi warning benchmark stations, basic stations, and general stations operating on the network, the noise power spectrum analysis method and the indicators of acceleration noise peak PGA, velocity noise peak PGV, and displacement noise peak PGD were used to evaluate the noise levels of the three types of stations in Shanxi warning station network. The noise power spectrum area ratio method was used to quantitatively evaluate the noise levels of the three types of stations. Based on the evaluation results, investigate and handle stations with abnormal waveforms. To provide effective support for network operation and maintenance personnel to timely detect abnormal stations and take effective measures to eliminate anomalies, and to improve the quality of station network observation data and early warning capabilities.

**Key words:** warning station network; data quality; noise power spectrum; PGA; PGV; PGD

# 大同、朔州地震预警基准、基本站运行质量分析

李文超<sup>1,3</sup>, 殷 锴<sup>1,3</sup>, 刘 炜<sup>1,3</sup>, 陈永新<sup>2,3</sup>, 王天琦<sup>1,3</sup>, 张子俊<sup>1,3</sup>

(1. 山西省地震局大同地震监测中心站, 山西 大同 037008; 2. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 3. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

**摘要:** 2015年以来,我国为加快推进地震预警技术体系建设,在全国范围内启动“国家地震烈度速报与预警工程”建设工作,其中在大同、朔州新建地震预警基准、基本站33个,新建一般站146个。为深入了解新建基准、基本站运行状况,本文对各站点试运行以来运行情况和台基噪声、地震记录及地震预警触发等情况进行分析。结果显示,各站点运行状况良好,运行率呈稳定上升趋势,延时率呈稳定下降趋势,站网总体观测环境噪声、波形记录、地震预警触发良好,山西地区地震预警初见成效。

**关键词:** 地震预警; 运行率; 台基噪声

**中图分类号:** P315.73

**文献标志码:** A

## 0 引言

近年来,地震预警在全球被广泛关注,很多国家和地区已经建立针对多个特定设施或城市区域的预警系统<sup>[1]</sup>,如日本的紧急地震速报系统、日本新干线铁路UrEDAS系统、墨西哥SAS系统、土耳其伊斯坦布尔的地震预警系统及我国台湾地区的地震预警系统等<sup>[2]</sup>。地震预警技术利用地震P波传播速度比破坏性S波和面波快及电磁波速远快于地震波速的原理,以便在尽可能短的时间内确定地震基本参数或直接估计预警目标区地震动和破坏程度,在P波或S波到达预警目标区之前,对可能破坏性地区发出地震警报,并启动地震应急控制系统,警告人们撤离危险场所,使快速列车减速或停止,关闭煤气等危险源,停止某些生产过程,如高空作业等,以消除潜在威胁,减少伤亡等<sup>[3]</sup>。

2015年以来,我国为加快推进地震预警技术体系建设,在全国范围内启动国家地震烈度速报与预警工程建设工作,包括台站观测系统、通信网络系统、数据处理系统及紧急信息发布系统的建设等。其中,台站观测系统作为地震信息采集的源头,其运行状况对地震预警信息发布的准确性、可靠性至关重要,本文拟对大同地震监测中心站辖区(大同、朔州)新建地震预警基准站、基本站试运行以来的各类状况进行分析,为更好地了解预警站网监测系统运行状况、监测数据质量、地震预警信息等提供参考。

## 1 台网概况

### 1.1 建设概况

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目于2021年底基本建设完成,2022年4月进入内部测试运行,2023年8月完成试运行。该项目在山西省内共新建基准站、基本站、一般站1096个,新建基准站、基本站依托各辖区中心站运维,一般站依托铁塔公司运维。其中,大同地震监测中心站辖区(大同、朔州)新建基准站10个、基本站23个、一般站146个,各预警台站平均台间距集中在10 km和20 km,98.91%的台站平均台间距小于20 km,空间分布如图1所示。新建基准站均为基岩地面观测,新建基本站均为土层地面观测,台站附近均有断裂通过。

### 1.2 台站观测系统概况

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目台站观测系统主要由观测、通信、运行保障和防雷4个系统组成(见图2)。其中,新建基准站观测系统主要由三分向60 s(120 s)宽(甚)宽频带地震计、三分向加速度计及六通道24位带GNSS授时数据采集器等专业设备组成;新建基本站观测系统主要由三分向加速度计和三通道24位带GNSS授时数据采集器等专业设备组成;新建基准站、基本站地动速度通道采样率100 sps/ch,地动加速度通道本地记录采样率200 sps/ch,实时传输采样率100 sps/ch。

## 2 运行质量分析

### 2.1 站网运行状况

台站观测系统运行的稳定性直接影响站网数据质量,进而影响地震记录、地震速报和地震预警的发布



等。通过对2022年5月至2024年4月大同站辖区预警站网测试运行以来波形记录情况进行计算,得出预警站网基准、基本站运行率、延时率(见图3、图4)。试运行以来,大同站辖区33个新建预警基准、基本站运行总体平稳,基准站平均运行率99.36%,基本站平均运行率99.64%,基准、基本站平均运行率呈稳定上升趋势;基准站受运行初期网络不稳定及无线传输站点

影响,平均延时率达1.19s,2023年2月后随着部分无线站点传输方式变更为有线传输,基准站平均延时率降低至1s以下,基本站平均延时率降到0.82s,基准、基本站延时率呈稳定下降趋势;出现故障67次,主要集中在网络、供电和专业设备三方面(见图5)。其中,网络故障占比达85%,供电故障占比8%,专业设备故障占比7%。

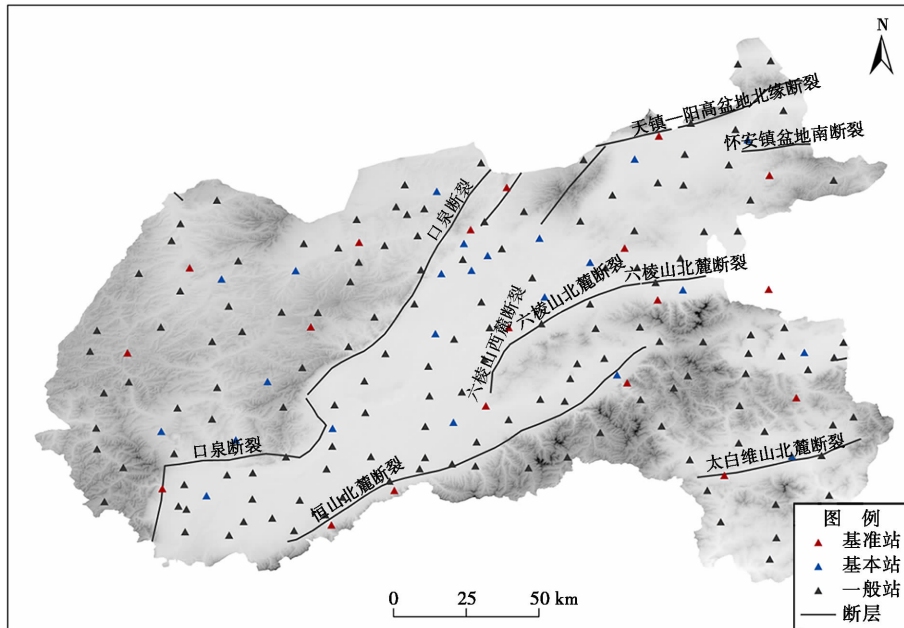


图1 大同地震监测中心站辖区预警站网分布图

Fig.1 Distribution map of early warning station network in the jurisdiction of Datong Earthquake Monitoring Center Station

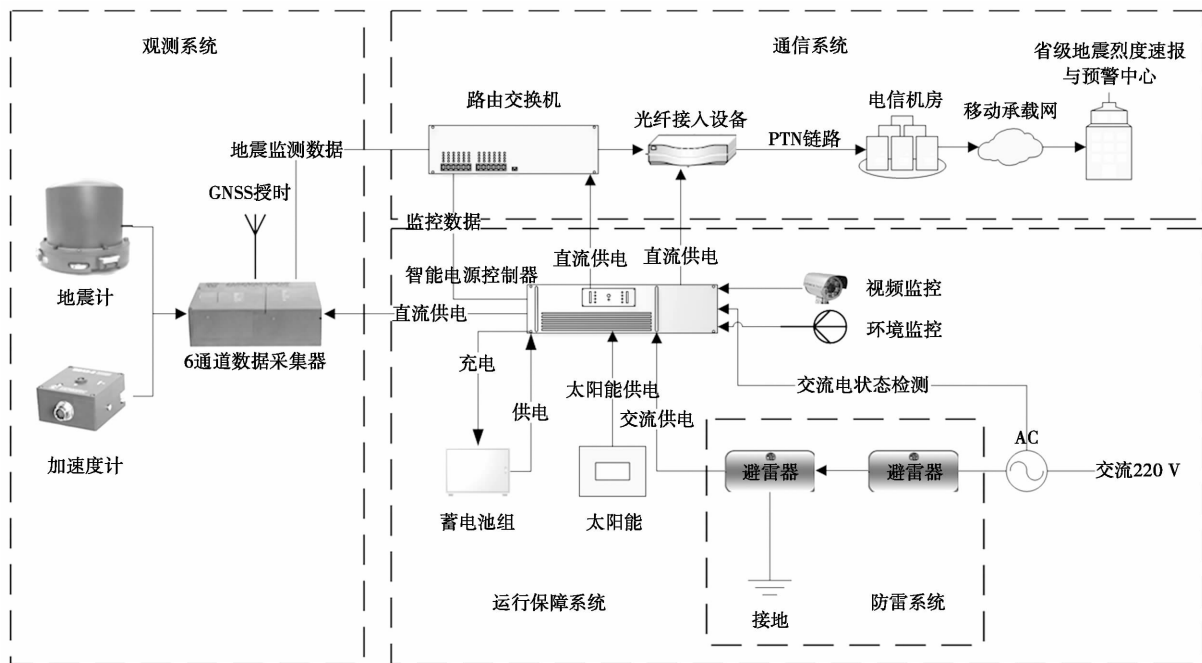


图2 台站观测技术系统构成图

Fig.2 Composition of station observation technology system

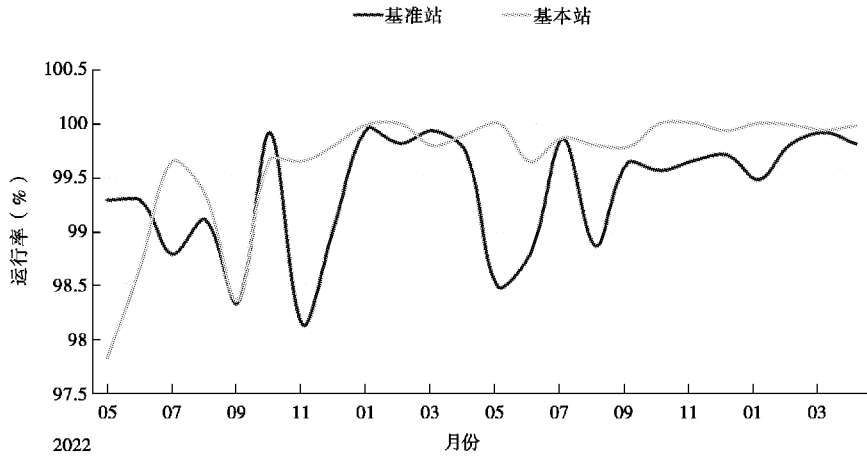


图3 大同、朔州预警基准、基本站运行率

Fig.3 Datong and Shuozhou early warning standards and basic station operating rates

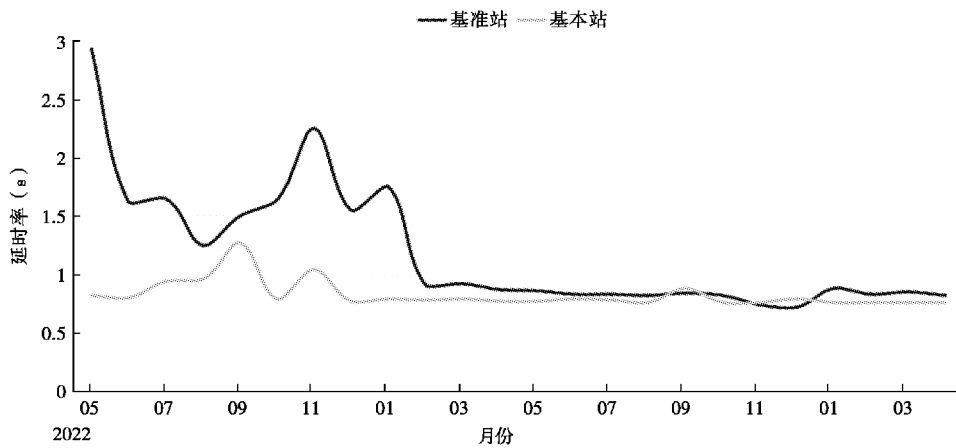


图4 大同、朔州预警基准、基本站延时率

Fig.4 Delay rates of warning benchmarks and basic stations in Datong and Shuozhou

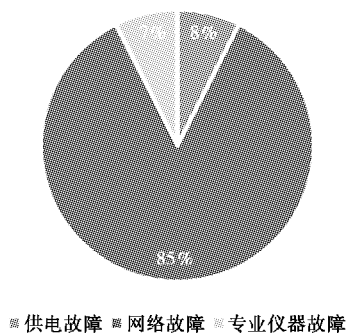


图5 大同、朔州预警基准、基本站故障类型统计  
Fig.5 Statistics of warning benchmarks and basic station fault types in Datong and Shuozhou

### 2.2 台基噪声功率谱密度

台基噪声功率谱密度(PSD)是描述测震站网台基噪声在单位时间内不同频率上功率分布情况的物理量,台基噪声水平直接影响地震观测数据的准确性和可靠性,同时也是台站观测系统运行状态和观测数据质量量化检测评估的重要指标<sup>[4]</sup>。根据行业标准 DB/T 60—2015《地震台站建设规范地震烈度速报与预警台站》规定,预警基准站台基噪声水平应符合现行国家标准 GB/T195351.1—2004《地震台站观测环境技术要求》;预警基本站地面脉动在 1~20 Hz 频带范围内的最大背景振动加速度噪声均方根值(RMS)应不大于 0.01 m/s<sup>2</sup>,宜小于 0.001 m/s<sup>2</sup>。由台基噪声功率谱密度根据式(1)计算得出地动噪声均方根值可有效评估大同站辖区预警基准、基本站台基噪声水平。预警基准站 PSD 为速度功率谱密度,单位

(m/s)<sup>2</sup>/Hz。预警基本站 PSD 为加速度功率谱密度,单位为(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz。

$$RMS = \sqrt{2PSD \times f_o \times RBW}, \quad (1)$$

$$RBW = (f_u - f_l)/f_o, \quad (2)$$

式中: $f_o$  为分度倍频程中心频率; $RBW$  为相对带宽; $f_u$ 、 $f_l$  分别为分度倍频程上、下限频率。

本文选取了 10 个新建基准站、23 个新建基本站在 2023 年 5 月期间无地震记录及无明显干扰时间段波形记录数据,采取去除长周期及零点漂移处理后,结果表明,基准站中 I 类环境地噪声水平台站 6 个,占比

60%, II 类环境地噪声水平台站 2 个,占比 20%, III 类环境地噪声水平台站 2 个,占比 20%,无 IV 类、V 类环境噪声水平台站;23 个基本站中 1~20 Hz 频带范围内的最大背景振动加速度噪声均方根值(RMS)均不大于 0.01 m/s<sup>2</sup> 且全部小于 0.001 m/s<sup>2</sup>(见表 1)。为便于与美国 USGS 的 J. Peterson 提出的全球公认的地球低噪声新模型(NLNM)和高噪声新模型(NHNM)进行对比分析,进一步把加速度 PSD 值以 dB 单位表示,同时给出各站点地震噪声加速度功率谱密度的概率密度函数分布图(见图 6、图 7)。

表 1 基准、基本站 1~20 Hz 频段地噪声水平表

Table 1 Noise levels of reference and basic stations in the 1—20Hz frequency band

台站代码	台基噪声(m/s)	台基级别	台站代码	台基噪声(m/s <sup>2</sup> )	台站代码	台基噪声(m/s <sup>2</sup> )	台站代码	台基噪声(m/s <sup>2</sup> )
DTXXB	2.29E-08	I	BD001	8.78E-05	BT001	4.07E-05	FS002	3.52E-05
GLJYX	1.68E-08	I	BD002	1.99E-05	BX001	3.57E-06	FX001	6.39E-05
HRNMX	1.88E-08	I	BD003	1.22E-05	BY001	6.89E-05	FY001	5.20E-06
LQXSZ	3.60E-08	II	BG001	5.57E-05	BY002	9.72E-06	—	—
PLUFH	2.69E-08	I	BH001	2.97E-05	BZ001	5.27E-06	—	—
SCHXT	2.85E-08	I	BL001	7.77E-05	FC001	5.57E-05	—	—
SYPMY	3.90E-08	II	BN001	1.77E-05	FH001	1.75E-05	—	—
TZEMX	3.13E-08	I	BN002	3.36E-05	FP001	6.11E-05	—	—
ZUYMD	1.84E-07	III	BN003	1.14E-04	FP002	1.89E-05	—	—
ZUYQE	1.34E-07	III	BN004	4.25E-05	FS001	4.24E-05	—	—

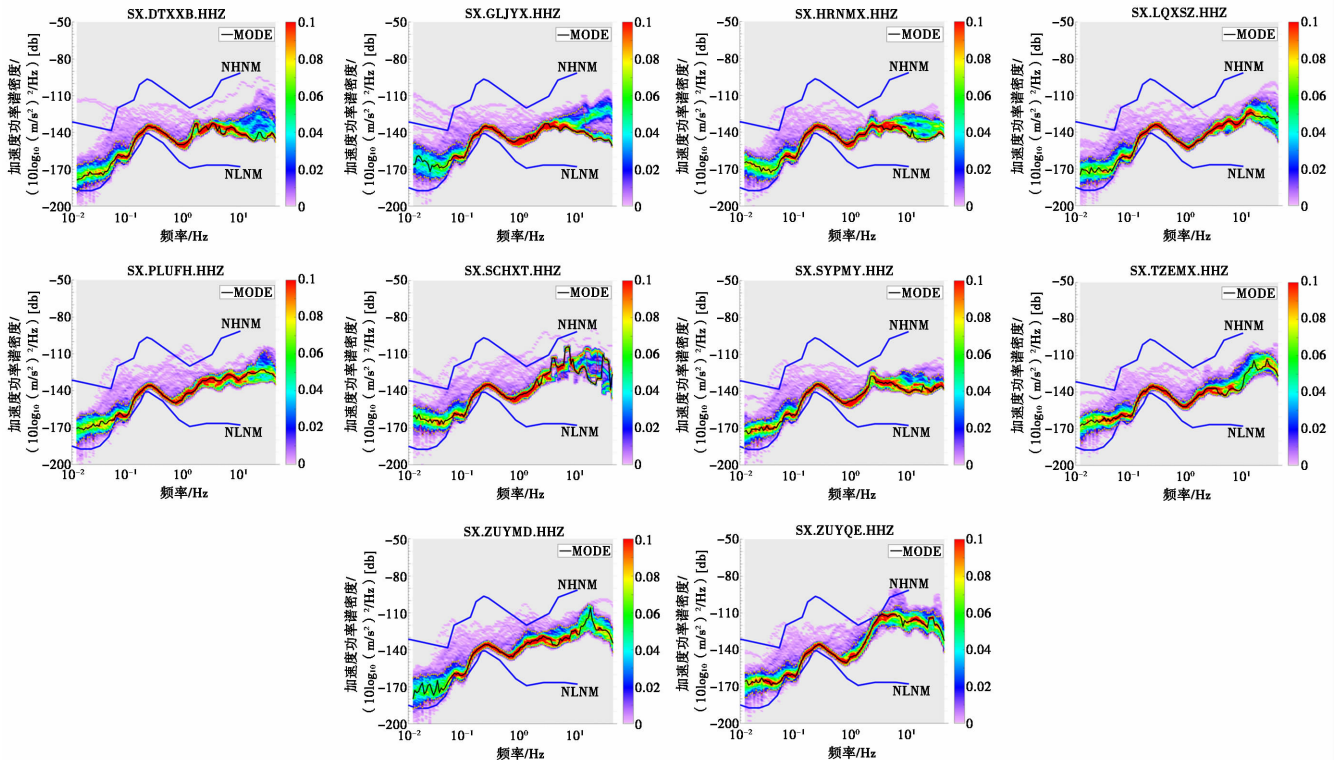


图 6 10 个新建基准站台基噪声速度功率谱密度(PSD)曲线图

Fig. 6 Velocity power spectral density (PSD) curve of 10 newly built reference platform foundation noise

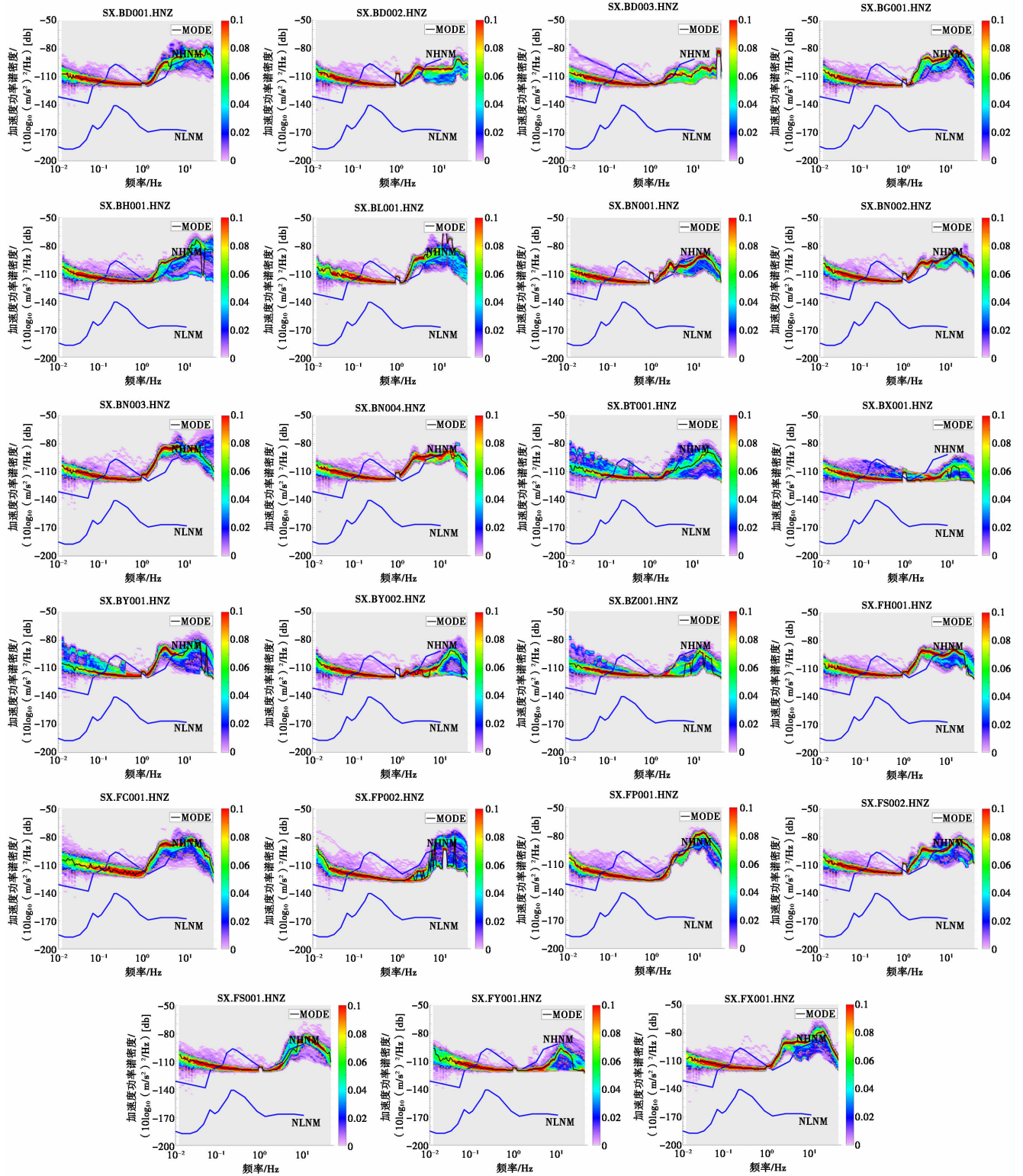


图7 23个新建基本站台基噪声加速度功率谱密度(PSD)曲线图

Fig. 7 Power spectral density (PSD) curve of ground noise acceleration for 23 newly built basic platforms



基于基准、基本站 PSD 曲线可以看出,基准站全部站点速度计台基噪声速度功率谱密度形态均在地球正常噪声模型范围内(见图 6),无超出地球高噪声模型(NHNM)的站点,动态范围在 $-180\sim-110$  dB。在低于 1 Hz 频段各站点噪声水平均接近地球低噪声模型,主要背景噪声成分集中在 10 Hz 左右,III 类台基站点(ZUYQE、ZUYMD)高频背景噪声成分明显较 II 类、I 类站点高,更接近于地球高噪声模型;基本站加速度计台站噪声加速度功率谱密度受场地环境约束(站点全部建设在土层上)其动态波动范围明显宽于基准站。动态范围在 $-140\sim-90$  dB(见图 7),在低于 2 Hz 频段全部站点 PSD 值波动范围不大,主要动态范围在 $-120\sim-100$  dB,整体形态也较为一致,各站点 PSD 均值在 2 Hz 附近出现“高频拐点”,拐点右侧 PSD 值急剧升高,主要背景噪声成分也集中在 10 Hz 左右。根据基本站建设实际,可推测台站高频段噪声主要为人类活动生产等产生的环境噪声变化所致,且因每个地区活动特征的不一致导致波动差异性。如图 7 所示并结合表 1 计算结果可以看出,基本站部分站

点频段虽超过地球高噪声模型曲线,但 23 个基本站最大背景振动加速度噪声均方根值全部小于  $0.001$  m/s<sup>2</sup>,均符合预警站点建设运行规范要求。

### 3 地震事件记录和地震预警触发

以 2024 年 5 月 19 日 3 时 35 分 44 秒发生的山西阳高 3.9 级地震为例,根据地震事件近台波形记录显示,各新建地震预警基准、基本站记录地震事件波形清晰、完整(见图 8)。根据地震预警信息专报显示,中国地震预警网决策系统本次地震首报时间为 6 s,震中位置偏差 1.1 km,震级偏差 0.2;第二报用时 13.3 s,震中位置偏差 1.1 km,震级偏差 0.6,最小触发震级 4.1。大同、朔州辖区新建 33 个基准、基本站全部在距离震中 150 km 范围内,其中,距震中 50 km 范围内 5 个站点,全部触发成功;距离震中 50~100 km 范围内 14 个站点,全部触发成功;距震中 100~150 km 范围内 14 个站点中 12 个触发成功,占比 85%,未触发台站 2 个,占比为 15%。

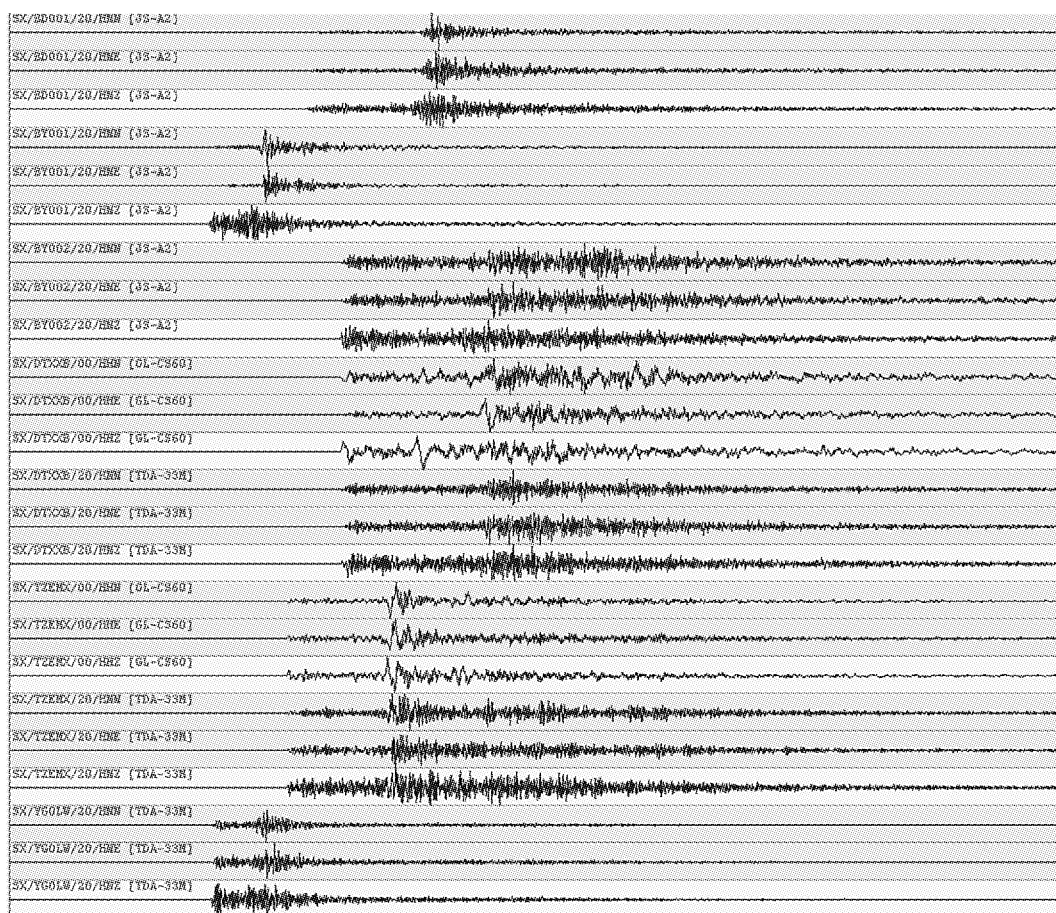


图 8 2024 年 5 月 19 日山西阳高 3.9 级地震近台波形记录图

Fig. 8 Near station waveform record of the 3.9 magnitude earthquake in Yanggao, Shanxi on May 19, 2024

## 4 结论与讨论

通过对辖区内(大同、朔州)地震预警新建基准站、基本站台观测系统试运行以来的运行状况、台基噪声、地震波形记录和地震预警触发情况进行初步分析得出:

(1) 33个新建预警基准、基本站运行状况良好,基准、基本站平均运行率呈稳定上升趋势;基准、基本站延时率呈稳定下降趋势,影响运行的主要故障原因为运营商链路故障,占比达全部故障的85%,为保障站点高运行率及低延时率,建议将传输方式全部更改为有线传输方式。

(2) 通过对33个新建基准、基本站台基噪声进行分析,基准站速度计台基噪声PSD、基本站加速度计台基噪声PSD均在合理动态范围内,站网总体观测环

境噪声良好,符合地震预警要求。

(3) 各站点地震波形记录清晰、完整,地震预警信息成功触发推送,山西地区地震预警初见成效。

## 参考文献:

- [1] 金星,张红才,李军,等.地震预警连续定位方法研究[J].地球物理学报,2012,55(3):925-936.
- [2] 张红才,金星,李军,等.地震预警定位方法研究[J].地震工程与工程振动,2011,31(3):168-176.
- [3] 梁艳,吕芳,李丽.山西地震台网地震预警时间及盲区半径分析[J].地震地磁观测与研究,2017,38(4):65-69.
- [4] 谢江涛,林丽萍,赵敏,等.四川地区背景噪声特征分析[J].地震学报,2021,43(5):533-550.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.地震台站观测环境技术要求第1部分:测震[S].北京:中国标准出版社,2004:1-9.

# Analysis of the Operation Quality of Datong and Shuozhou Earthquake Warning Standards and Basic Stations

LI Wenchao<sup>1,3</sup>, YIN Kai<sup>1,3</sup>, LIU Wei<sup>1,3</sup>, CHEN Yongxin<sup>2,3</sup>, WANG Tianqi<sup>1,3</sup>, ZHANG Zijun<sup>1,3</sup>

(1. Datong Earthquake Monitoring Center Station of Shanxi Earthquake Agency, Datong, Shanxi 037008, China;

2. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

3. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** Since 2015, to accelerate the construction of earthquake early warning technology system, China has launched the "National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning Project" nationwide. Among them, 33 new earthquake early warning benchmarks and basic stations have been built in Datong and Shuozhou, and 146 new general stations have been built. To gain a deeper understanding of the operation status of the newly built benchmarks and basic stations, this article analyzes the operation status, base noise, earthquake records, and earthquake early warning triggers of each station since its trial operation. The results show that the operation status of each station is good, with a stable upward trend in operation rate and a stable downward trend in delay rate. The overall observation environment noise, waveform recording, and earthquake warning triggering of the station network are good, and the earthquake warning in Shanxi region has achieved initial results.

**Key words:** earthquake warning; operating rate; platform noise



## · 技术交流 ·

文章编号:1000-6265(2024)03-0035-04

## 山西预警台站信息管理系统的设计与开发

吕飞亚<sup>1,2</sup>, 梁艳<sup>1,2</sup>, 刘炜<sup>1,2</sup>, 官卓宏<sup>1,2</sup>

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

**摘要:** 基于当前预警台站信息数据量大、复杂性高等情况, 设计与开发基于 Web 的山西预警台站信息管理系统。结合实际业务对预警台站信息管理系统进行需求分析, 明确要实现的功能及技术路线; 使用 Mysql 数据库进行表结构的构建和关联, 实现预警台站信息和备机备件的管理; 爬取专业仪器中的参数, 并与服务器中的参数进行一致性对比, 使用 JavaScript 和 Java 构建前端页面和后端框架; 最后进行系统部署, 实现大量信息的智能化管理, 提高运维人员的日常工作效率。

**关键词:** 山西预警; 信息管理; java; 数据库设计; python

**中图分类号:** P315.6-39

**文献标志码:** A

## 0 引言

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目<sup>[1]</sup>预警台站共建设 154 个基本站, 81 个基准站<sup>[2]</sup>, 861 个一般站。每个台站所属的地理位置信息、专业仪器和通用设备的型号序列号、地址配置、仪器参数等内容均需进行统计, 且不同类型台站安装仪器种类和型号不同, 同一种仪器还包括不同厂家的不同型号, 类型复杂多样。国家预警系统仅对部分信息实现基础信息登记, 不能满足日常业务需求。台站仪器备机备件的库存和调拨信息仍依靠人工记录, 使用表格来统计这些庞大的信息不仅造成工作的繁琐, 而且效率低下, 费时费力。

为解决上述问题, 设计与开发预警台站信息管理系统尤为重要, 该系统可实现每个台站的所有基本信息、仪器信息和资料的电子信息化管理, 更加方便运维工作人员对台站信息的管理和信息查找; 实现台站仪器备机备件的智能化管理<sup>[3]</sup>。更重要的是, 可实现对台站参数修改和仪器更换操作留痕。

## 1 需求分析

该系统的主要目标是实现对台站信息和备机备件的信息化、智能化管理, 保留历史更改情况的记录。可实现精准查找和模糊查找三类站点的基础信息, 包括站点经纬度和配备专业仪器信息等内容的功能; 记录各站点仪器更换历史情况, 包括更换时间、更换后的设备型号和序列号、更换原因等信息; 定期对各服务器中

的站点参数和台站仪器中配置的实际参数进行一致性对比, 保持参数一致性; 实现备机备件的智能化管理, 包括各型号设备的库存量, 仪器调拨情况、返厂维修情况等, 方便工作人员查找。功能模块如图 1 所示。

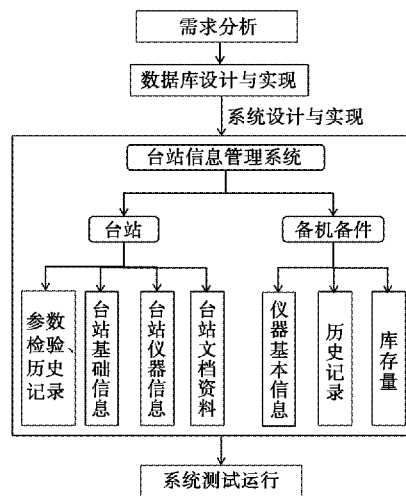


图 1 功能模块图

Fig. 1 Functional module diagram

(1) 台站模块: 包括台站信息模块和参数检验模块。台站信息模块有基础信息、仪器信息和文档资料管理三个部分。对现有的预警台站基础信息表格进行精细划分, 针对每个台站仪器信息和资料信息等分类设计数据库基础信息表结构, 并通过索引、外键和创建视图等方式建立各个基础表之间的关联。参数检验模

收稿日期: 2024-06-26

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-2413)。

第一作者简介: 吕飞亚(1993-), 女, 山西晋城人。硕士研究生, 助理工程师, 主要从事地震监测运维工作, E-mail: 1272248830@qq.com。

通讯作者: 梁艳(1985-), 女, 山西太原人。硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地震监测运维工作, E-mail: liangyan\_@126.com。

块可实现自动提取预警台站网页参数信息并与管理系统中台站参数进行对比与筛选,准确识别出不一致的参数。

(2) 备机备件模块:设计台站仪器库存管理表,实现仪器基本信息管理、出入库管理和各类仪器库存量查询及仪器返厂维修等备注信息。

## 2 系统架构

系统使用 JavaScript 进行前端页面的开发和设计,MySQL 作为后台数据库管理系统,以 Java 作为后台开发语言,系统采用 B/S 结构<sup>[4]</sup>最终实现(见图 2)。

### 2.1 数据库设计

该系统数据库基础信息表包含台站信息表(DICT\_stations)、仪器信息表(DICT\_instrument)、台站文档存储表(DICT\_stationsFile)、备机备件统计表(STAT\_instrument)。台站信息表和仪器信息表通过创建视图,生成台站对应仪器信息表(stations\_instr)和仪器

更换记录表(instr\_change)。台站信息修改记录生成台站参数修改记录表(stations\_change)。其中台站信息表(DICT\_stations)设计结构如表 1 所示。

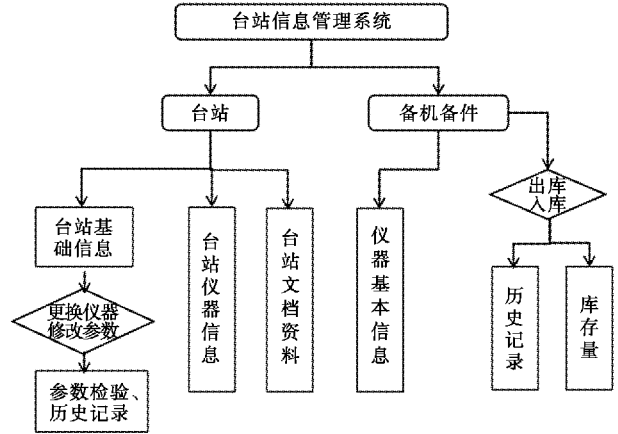


图 2 系统流程图

Fig. 2 System flowchart

表 1 台站信息表(DICT\_stations)

Table 1 Station information table (DICT\_stations)

字段中文名	字段英文名	英文名缩写	字段类型及长度	主键	null	说明
台站代码	station ID	stationID	char(8)	√		
台站名称	station name	stationName	varchar(50)			
台站类型	station type	stationType	varchar(50)			基准、基本、一般站
台站地址	station address	stationAdd	varchar(50)		√	
纬度	latitude	latitude	number(8,5)			单位(°)
经度	longitude	longitude	number(9,5)			
高程	altitude	altitude	number(7,2)			单位(m)
井深	hole depth	holeDepth	number(7,2)		√	
场地类型	site type	siteType	varchar(20)		√	I、II、III
台基类型	platform type	platformType	varchar(20)		√	土层、基岩
安装环境	installation environment	installEnv	varchar(20)		√	地表、井下、山洞
噪声级别	noise level	noiseLevel	varchar(20)		√	I、II、III

系统中数据库需要关联的表通过主键和外键建立连接。通过视图简化操作,集中展示所需数据,使应用程序和数据库表在一定程度上独立。数据库数据流程 ER 图如图 3 所示。

#### (1) 锁表。

使用数据库锁表<sup>[5]</sup>保证并发场景下每个事务在读取和修改时保持一致性。当一个事务对一条数据上锁后,其他事务就不能修改,直到锁的释放<sup>[6]</sup>。多个账号同时登录或者一个账号在不同电脑上同时登录时,多人或者账号可同时查看信息,只有一人可修改,以防止多人同时修改同一条数据造成的数据错误。

#### (2) 数据标记。

在进行数据库设计时,考虑到要对台站历史信息留痕(保存台站仪器更换记录),在每修改一次台站仪器信息时,并未将原来的信息进行彻底覆盖,而是进行软删除。并对该字段进行 0 或 1 的标记,0 表示目前

在使用的仪器信息,1 表示历史信息。同时加入时间戳<sup>[7]</sup>,记录下每次信息修改的时间。

#### (3) Check 约束。

使用 Check 约束数据库中特定列的数据符合实际条件。Check 约束在数据插入或更新时自动执行,如果数据不符合定义的条件,该项操作将被拒绝执行。使用 Check 约束可提高数据的完整性,保证数据质量。

### 2.2 参数一致性对比

#### (1) 数据爬取。

预警台站网页参数信息与管理系统中台站参数进行对比时,需要通过 IP 登录网页爬取仪器参数。使用 Python 语言,调用 BeautifulSoup 和 Pandas 两个依赖包,发送 HTTP 请求获取网页内容,使用 BeautifulSoup 找到要读表格,遍历表格的行提取表中所需要的数据<sup>[8]</sup>,然后创建包含提取信息的新列,将结果保存到新的表格。

(2) 图片识别。

爬取的数据与管理系统中的经纬度进行对比后存在差异性的,再从最近一次台站巡检报告中提取经纬度进行校对。通过台站代码关键字,找出对应台站的巡检图片,通过orc<sup>[9]</sup>图片识别功能,识别并提取出经纬度和高程等信息进行再次比对。

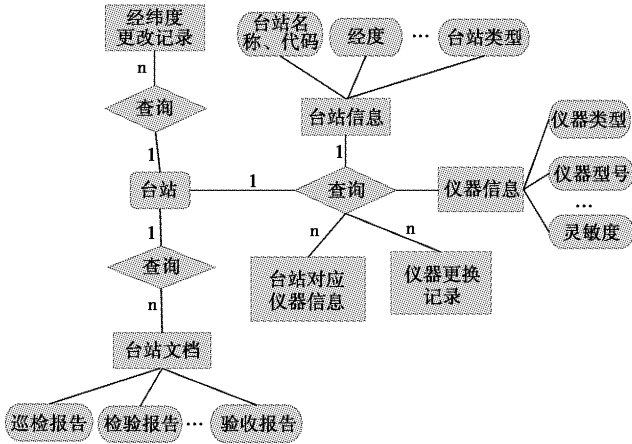


图3 数据流程ER图

Fig.3 Data flow ER diagram

3 系统部署与实现

在测试机上搭建好Web程序,经过运行测试后,将程序打包成JAR包,用于封装库文件、资源文件、工具和测试好的Web程序。

将Web程序打包成JAR包可简化部署流程,包含Web程序所需的所有依赖库和类文件。不需要在服务器上单独安装这些依赖,可以在任何支持Java的平台上运行,只需一个JAR包即可。正式部署环境步骤:

(1) 服务器环境准备。

配置服务器环境,安装Apache Web服务器,以及MySQL后端环境。通过SSH工具将JAR包上传至服务器,确保网站文件和目录的权限设置合理,并配置防火墙等安全措施。

(2) JAR包部署。

cmd命令运行:通过SSH连接到服务器,使用cd命令切换到JAR包所在的目录。使用nohup java -jar 包名字.jar & 命令在后台运行JAR包,并将日志输出到指定文件。

(3) 测试与监控。

访问网站测试:使用浏览器访问网站域名或服务器IP地址,确保网站能够正常访问。

日志监控:定期查看网站和JAR包的日志文件,确保运行正常,及时发现并处理潜在问题。

系统正常运行Web首页左侧为菜单栏,可选择对应的功能,右侧主页中展示当日数据变化的情况,具体如图4所示。图5为台站信息展示页面,可根据台站名称或代码进行搜索,对台站信息进行查看、修改和删除等操作。



图4 系统首页

Fig.4 System homepage

图5 台站信息展示页

Fig.5 Station information display page

## 4 结语

针对目前山西预警台站信息管理中存在的问题和不足,设计和开发山西预警台站信息管理系统。使用MySQL数据库建立库表结构,并研究各表之间的关联。设计开发前端Web页面<sup>[10]</sup>,用Java搭建前端页面和数据库之间的操作,完成对数据库的增删改查等功能。

在日常测试和使用中,还发现系统存在部分功能设计不充分等问题,还需要不断地修改和完善,进一步提升山西预警信息管理的智能化水平,更好为运维工作人员提供更方便快捷的服务。

### 参考文献:

- [1] 刘雪娇,吕睿,冯凯宇,等.山西预警台站地震参数测定结果与测震数据对比分析[J].地震科学进展,2024,54(3):193-196.
- [2] 丁大业,董春丽,宫卓宏,等.山西地震预警新建基准站数据质量评估[J].山西地震,2023(2):15-22.
- [3] 冯凯宇,吕睿,刘雪娇,等.山西地震预警系统数据处理结果浅析[J].科学技术创新,2023(3):76-79.
- [4] 潘颖,何斌,卜玉菲,等.基于B/S架构的地球物理观测台站管理系统的设计与实现[J].地震地磁观测与研究,2023,44(6):145-153.
- [5] 李伦,陈芳.内存溢出和数据库锁表的分析与解决[J].电脑编程技巧与维护,2008(14):82-84.
- [6] 周晓云,覃雄派.基于轻量数据挖掘方法的数据库锁表优化[J].计算机工程与应用,2012,48(8):16-20+27.
- [7] 刘帅,乔颖,罗雄飞,等.时序数据库关键技术综述[J].计算机研究与发展,2024,61(3):614-638.
- [8] 吴道君.大数据背景python在网络爬虫框架中的应用[J].科学技术创新,2021(21):97-99.
- [9] 周延熙.基于OCR模型的通信机房图片归档系统设计[J].信息与电脑(理论版),2024,36(1):125-127.
- [10] 张艳敏.JavaScript程序设计课程的教学设计与实践[J].电子技术,2023,52(10):386-387.

## Design and Development of Shanxi Early Warning Station Information Management System

LV Feiya<sup>1,2</sup>, LIANG Yan<sup>1,2</sup>, LIU Wei<sup>1,2</sup>, GONG Zhuohong<sup>1,2</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** Based on the current situation of large and complex information data of warning stations, a web-based Shanxi warning station information management system is designed and developed. Firstly, conduct a requirement analysis of the early warning station information management system based on actual business needs, and clarify the functions and technical roadmap to be implemented. Build and associate table structures using MySQL database to manage warning station information and spare parts. Crawl parameters from professional instruments and ensure consistency with parameters on the server. Use JavaScript and Java to build front-end pages and back-end frameworks. Finally, system deployment was carried out to achieve intelligent management of a large amount of information, improving the daily work efficiency of operation and maintenance personnel.

**Key words:** shanxi warning; information management; java; database design; python

# 预警基本二类站观测设备问题诊断与排除

刘国俊<sup>1,3</sup>, 李晓锐<sup>1,3</sup>, 刘焱坤<sup>2,3</sup>, 姚林鹏<sup>1,3</sup>, 李芸<sup>1,3</sup>

(1. 山西省地震局运城地震监测中心站, 山西 运城 044400; 2. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 3. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

**摘要:** 国家地震烈度速报与预警工程山西子项目通过5年的建设于2023年5月正式投入运行。针对运城地震监测中心站在运维巡检预警基本二类站观测设备时发现的站址、安装及观测环境等问题进行梳理分析, 排查原因, 并给出相应的解决办法。通过整改有效提升了运行质量, 为运维人员今后做好预警监测站巡检维护提供参考借鉴。

**关键词:** 预警基本二类站; 运维巡检; 观测设备  
**中图分类号:** P315.62 **文献标志码:** A

## 0 引言

为有效应对我国地震频发的严峻震情形势, 减少大震巨灾造成的人员伤亡和财产损失, 提升政府灾情判断和应急救援决策能力, 中国地震局于2018年启动实施国家地震烈度速报与预警工程, 2023年完成竣工验收。其中, 山西全境布设基本二类站861个, 建设地点主要在重点地区乡镇级行政单元, 由烈度计、供电系统和通讯系统3部分组成<sup>[1]</sup>。站点建设依托中国铁塔股份有限公司山西分公司(以下简称山西铁塔)现有基站开展, 建设安装均由山西铁塔完成。

依据中国地震局《关于进一步加强地震预警系统建设与运行管理的暂行规定》的通知、台网中心关于《国家地震烈度速报与预警工程基本二类站观测系统运维管理要求(试行)》的函和山西省地震局《中心站预警站网运维细则(暂行)》的相关要求, 在工程验收前, 山西省地震局统一组织对全省范围内基本二类站开展巡检工作, 确保烈度计参数准确, 安装规范。

运城地震监测中心站(以下简称运城站)负责山西省运城市 and 晋城市辖区内167台套基本二类站的运行管理(见图1)。工作内容包括: 负责基本二类站运行状态检查、巡查, 发现问题及时告知、督促、配合省铁塔公司处理并验证处理结果; 负责站点现场抽查巡检, 技术指导山西铁塔完成迁址和运维等工作。运城站于2022年11月21日至2023年3月13日对辖区内基本二类站开展巡检, 本文重点对巡检过程中发现的问题及采取的相应措施进行梳理与总结, 并结合案例进一步验证巡检后的系统运行质量。

## 1 巡检内容

巡检主要对台站布局、观测环境、设备安装、参数设置、供电、接地、通讯、功能测试等方面进行检查和校验。

- 1.1 台站布局指标: 台站间距要求在5 km范围内, 且台站网格间距保持等间距。
- 1.2 观测环境: (1) 观测站点周边距振动源(如距离公路、高速路、游乐场等)大于50 m; (2) 观测室内温度小于26℃, 湿度在20%~80%; (3) 观测室内地板不得存在空鼓; (4) 塔房须分离; (5) 悬挂塔长牌。
- 1.3 设备安装: (1) 方位角小于5°<sup>[2]</sup>(方位角用寻北仪测量2次以上, 取平均值), 指北标示清晰; (2) 烈度计须调平, 水泡居中, 固定牢固; (3) 信号线、供电线连接牢固, 不交叉, 插头拧紧; (4) 防护机箱摆放整齐; (5) 接地规范, 接地电阻小于10Ω(见图2)。
- 1.4 参数设置: 确保站点高程、经纬度、仪器ID及IP、极性等内容正确, 经纬度保留小数点后四位。
- 1.5 供电: 工作电压烈度计12 V, DTU 12 V, 检查电力线路绝缘破损情况。
- 1.6 通讯设备: DTU指示灯状态正常。
- 1.7 功能测试: 开展敲击试验, 顺序依次为: UD从上向下, EW从东向西, NS从北向南。

## 2 巡检发现问题及解决措施

### 2.1 站址选择

由于对周围地质环境要求不高, 站点多布设在人口相对密集的乡镇, 台基类型为自由场, 选址存在机房

收稿日期: 2024-03-01

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-2414)。

第一作者简介: 刘国俊(1972—), 男, 山西洪洞人。高级工程师, 主要从事地震仪器设备运维工作, E-mail: liuguojun926@163.com。

通讯作者: 李晓锐(1990—), 男, 山西夏县人。高级工程师, 主要从事地震仪器设备运维工作, E-mail: LIXIAORUI90@163.com。



与铁塔基础不分离、设置在高山山顶或山坡上及陡坎等局部地形变化大的地点,周边存在采矿和火车等干扰问题<sup>[3]</sup>。运城站存在主要问题为塔房一体现象,运城市区 6 个问题台站占本区台站数的 5.5%,晋城市

区 15 个问题台站则占比高达 26.3%。为解决此问题,现已对运城市区 5 个基本二类站和晋城市区 10 个基本二类站进行搬迁。

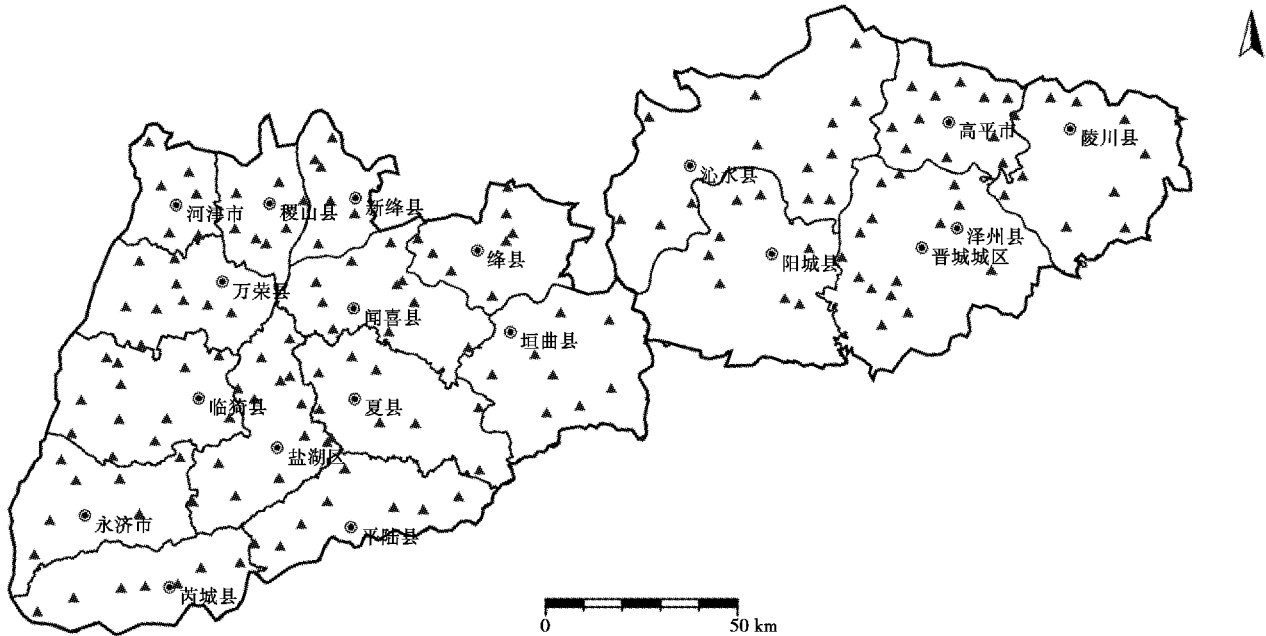


图 1 运城站辖区基本二类站分布图

Fig. 1 Distribution map of basic second-class stations in the jurisdiction of Yuncheng Station

2.2 安装事项

(1) 方位角大于 5 度;(2)调平螺丝缺失;(3)安装不牢固;(4)接地存在严重虚接现象;(5)安装保护箱不整齐,布线杂乱,无警示线<sup>[4]</sup>。

在 2022 年 10 月至 2023 年 3 月,开展基本二类站巡检工作,主要对站点经纬度、烈度计安装情况(方位角)、烈度计极性等进行全面检查和校核,发现的安装问题统计结果如表 1、图 3 所示。

2.3 观测环境

(1)机房内温度过高、潮湿过大;(2)存在振动源干扰;(3)基站室内存在蜂巢现象;(4)地面多为回添土,存在空鼓地段;(5)主要分布在稷山、河津、永济、万荣一带的 6 个台站仪器衬板出现腐蚀现象,这些台站所在位置距离汾河、黄河较近,出现类似情况可能与当地水质(盐碱地)有关;另外,仪器接地导线未连接也会加速衬板腐蚀,因与地面存在电位差,仪器外壳多为铝制造,铝的活跃特性引发了电解腐蚀(见图 4a、4b、4c)。

2.4 解决措施

(1) 烈度计方位角偏大。

拆除烈度仪,用寻北仪测定方位角,激光尺画出标识线,量角尺确定方位角,待仪器重新固定后复测。如果偏差大于 3°,可调节底角螺丝进行微调,再用寻北

仪测定方位角确定最终方位角度,直至满足规范要求。

(2) 烈度计固定。

烈度计固定不牢靠或地板下存在空鼓现象会导致首波记录不清,无法参加定位计算,造成地震预警失准甚至误报现象。优选地基处回填土不超过 1 m 的一层砖混机房站点,通过打磨等手段确保安装面平整<sup>[4]</sup>。根据中国地震台网中心要求及设备手册进行安装调试,运用定位打孔法安装膨胀螺丝并使用长套管进行加固,连接上电,直至设备调试成功。

(3) 烈度计衬板腐蚀。

为避免烈度计衬板腐蚀,建议今后在选址中避开环境潮湿、盐碱地等特殊地区,无法避开时,则建议采用仪器台墩或采取壁挂安装方式,同时严格按照安装规定对仪器进行接地处理,以降低设备电解腐蚀风险。如在为防止 M0033 基本二类站烈度仪衬板再次腐蚀的案例中,采用室内浇灌仪器墩,尺寸为 60 cm×60 cm×60 cm,地下埋深 40 cm,地面高度 20 cm,且在四周设置隔震槽,经检验防潮隔震效果明显,背景噪声降低(见图 4d)。

(4) 烈度计参数设置。

针对烈度计仪器标签与站点信息不符问题,可通过登录 REMOS-SIT4 型烈度速报终端 Web 页面修

改参数,并通过联系省局维护人员确保仪器参数设置无误。

改效果显著。

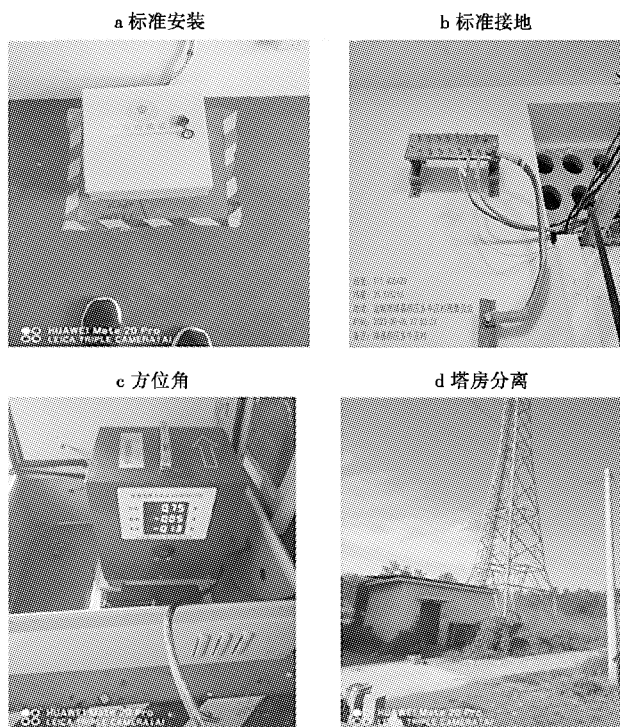


图2 运城站基本二类站烈度计安装方式  
Fig.2 Installation method of intensity gauge for basic class II stations at Yuncheng Station



图3 运城站基本二类站烈度计安装问题情况  
Fig.3 Installation problems of intensity meters for basic class II stations at Yuncheng Station

表1 运城站基本二类站网设备安装情况统计表

Table 1 Statistics of installation of basic class II station network equipment at Yuncheng Station

安装情况	仪器固定	设备调平	防护机箱	综合布线	防雷接地	方位角
合格台	137	51	167	162	72	38
占比(%)	82	30	100	97	43	23

### (5) 避雷接地。

避雷接地良好可有效确保仪器设备安全运行。所有设备应严格使用 2.5 mm<sup>2</sup> 铜线统一接入接地排,保证仪器设备接地电阻小于 4 Ω,确保连接牢固可靠。

## 3 数据质量和波形记录整改前后对比分析

### 3.1 运行指标

通过国家地震烈度速报与预警工程定制软件系统对辖区内 167 个基本二类站 2023 年 1 月至 6 月(整改前)与 2023 年 10 月至 2024 年 3 月(整改后)的数据从可用率、完整率、运行率和延时四方面进行对比<sup>[5]</sup>,从表 2 可以看出,整改后运行率明显高于整改前,巡检整



图4 运城站基本二类站烈度计衬板腐蚀与改造后情况  
Fig.4 Corrosion of intensity gauge lining plate at Yuncheng Station basic class II station and the situation after renovation

表2 运城站基本二类站运行质量统计表  
 Table 2 Statistics of operation quality of basic class II stations at Yuncheng Station

时间	可用率 (%)	完整率 (%)	运行率 (%)	延时≤1s (%)
2023年1月-6月	93.86	94.43	94.71	88.62
2023年10月-2024年3月	99.46	99.44	99.46	98.20

### 3.2 波形记录

针对部分基本二类站烈度计松动,记录波形出现异常,零点漂移、噪声曲线波动较大的问题进行整改,整改后波形质量明显提高,背景噪声降低(见图5)。

## 4 结论与讨论

本文对运城站预警基本二类站运维巡检中发现的问题进行梳理和分析,并采取相应的解决措施,确保基本二类站的正常运转。巡检中发现设备调平、防雷接地、方位角合格率偏低;存在选址不合理、安装不规范、

观测环境欠佳等问题,并针对上述问题提出了切实可行、操作性强的解决方案,及时开展整改,整改后设备运行率、可用率、完整率、延时合格率和波形质量明显提高。建议今后加强运维工作,可从以下几方面着手:

(1) 健全完善多方沟通协调机制。建议成立中心站、铁塔公司和第三方代维公司微信群,确保上站前及时报备,运维时实时沟通,特别是注意巡检期间确保地震烈度仪和附属设施在操作前设备处于下线状态,待操作完成检查复核后再上线。

(2) 提升故障响应能力与维修时效。中心站运维人员要熟练掌握国家地震烈度速报与预警工程定制软件系统的应用,强化实时监控、异常告警和及时处置的设备智能化管理,切实缩短故障响应时间,提升维修时效。

(3) 提升异常波形的识别质效。为提升设备巡检和运维的实效,运维人员可结合站点背景噪声、仪器噪声、安装情况等因素<sup>[6]</sup>,开展对烈度计异常波形检测方法的相关研究,提升准确识别异常波形的专业素质。

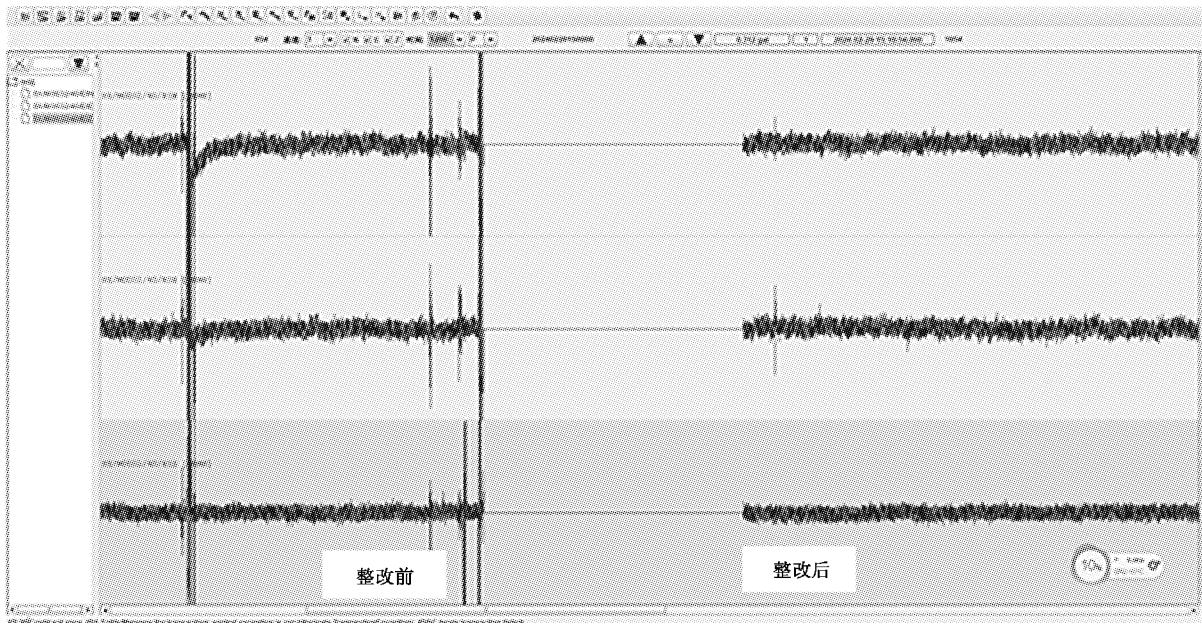


图5 M0032基本二类站烈度计实时波形图  
 Fig. 5 Real time waveform of M0032 basic second-class station intensity meter

### 参考文献:

[1] 付萍,郑韶鹏,汪豪. 福建省简易烈度计地震预警试验区观测网络系统建设[J]. 华南地震,2020,40(1):60-66.  
 [2] 中国地震局. DB/T60-2015 地震台站建设规范地震烈度速报与预警台站[S]. 北京:地震出版社,2015.  
 [3] 付萍,郑韶鹏,薛蕾. 简易烈度计设备选型及一般台站站建设[J]. 科技创新导报,2019,16(2):136-137.

[4] 肖武军,赵楠,李小军,等. 地震台站标准化中地震计防震加固装置试验分析[J]. 地震,2021,41(4):158-167.  
 [5] 王卫平,赵韬,古云鹤,等. 陕西地震烈度速报与预警系统一般站运行对比分析[J]. 地震科学进展,2022,52(8):388-395.  
 [6] 丁大业,董春丽,宫卓宏,等. 山西地震预警新建基准站数据质量评估[J]. 山西地震,2023(2):15-22.

(英文摘要见第55页)

# 山西省地震预警区域网的运行与分析

刘俊芳<sup>1,2</sup>, 谷利国<sup>1,2</sup>, 陈存田<sup>1,2</sup>, 张甲瑞<sup>1,2</sup>, 高翔<sup>1,2</sup>

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030025)

**摘要:** 山西省地震预警区域通信网络已运行两年多, 通过对网络运行情况、通信链路的运行率、故障原因等进行系统分析, 得出网络故障主要包括线路类、供电类、设备类和其他类, 其中线路类故障占比最高, 达72%, 并针对不同的故障给出相应的故障处置措施。采用网络运行监控系统可在第一时间发现故障, 有效提高地震预警网络的运行质量, 保障地震预警业务系统的可靠稳定运行, 提高地震速报预警的时效性。

**关键词:** 地震预警区域网; 基本基准站; 运行率; 链路故障分析

**中图分类号:** 315-39

**文献标志码:** A

## 0 引言

国家地震烈度速报与预警工程山西子项目是国家预警项目在山西省内建设的任务, 山西省地震烈度速报与预警通信网络系统由223台网络设备、189条链路构成, 自2022年试运行以来, 全省预警通信网络连通率持续提高, 达99%以上, 系统运行稳定。信息通信网络运行事故分析表明, 系统(网络)故障是导致网络运行安全事故的最大诱因<sup>[1]</sup>。罗丹等<sup>[2]</sup>认为, 随着通信网络新技术、新业务的频繁应用和通信网络运行安全面临的风险种类和风险影响范围不断增大, 开展通信网络运行安全的风险管理变成必然, 而降低通信网络运行安全风险也成为重中之重。王亚茹等<sup>[3]</sup>通过分析河北省地震行业网络容易出现的网络故障, 提出相应的解决方案, 以提高网络管理人员的工作效率, 创建平稳、安全的地震行业网络环境。为稳步提高山西省地震烈度速报与预警通信网络系统连通率和运行管理水平, 建立健全运行维护机制, 提升地震预警速报时效性, 文章通过系统梳理网络系统存在的故障隐患, 给出相应的处置措施, 为今后开展运维提供技术支撑。

## 1 山西子项目区域网结构

国家地震烈度速报与预警工程项目通信网络系统总体规划设计为“三纵、四层”的网络架构。三纵指现有行业网、新建数据传输网和信息发布网, 四层指国家中心、省中心、中心站及市局节点、观测站。在现有地震通信网络平台基础上, 新建覆盖全省地震重点区及

一般区的烈度速报与预警通信系统。山西省地震预警区域网涵盖全省187个新建基本基准站节点、48个改造基本基准站节点和861个一般站节点, 网络拓扑图如图1所示。

新建基本基准站使用省内承载网接入省级中心, 省级中心部署2台基本基准站接入路由器, 实现地震台站数据的汇聚, 为接收省内基本基准站的数据提供保障。采用省内MPLS-VPN承载网提供187个新建基本基准站的通信网络接入, 线路带宽为8M, 实现台站至省中心的数据传输。省级中心双线路双路由接入电信省内承载网, 线路带宽为100M。

接入的48个改造基本基准站采用地震行业网实现台站数据传输, 使用移动运营商PTN专线单线路通过汇聚至地震行业网信息节点再接入到省级中心, 在省级中心通过防火墙跳转21网段进行通信。改造站线路带宽为20M, 地震行业网信息节点线路带宽为30M。

861个一般站通过无线数据通信方式, 将数据汇集到铁塔上海云中心, 然后通过承载网传输到山西省级中心。中心站(含子台)通过移动专线直连的方式接入省中心, 实现中心站至省中心的互联互通。

山西预警区域网通信采用OSPF路由协议。核心交换机、台站接入路由器和VPN路由器采用OSPFv2进程100实现内部IPv4网络路由互通, 核心交换机到两台骨干路由器采用OSPFv2进程300和OSPFv3进程400作为iBGP底层路由协议实现路由互通。

收稿日期: 2023-05-30

基金项目: 山西省地震局科研项目(SBK-2411)。

第一作者简介: 刘俊芳(1986-), 女, 山西神池人。硕士研究生, 工程师, 主要从事信息网络运维和网络安全工作, Email: 443179698@qq.com。

通讯作者: 谷利国(1982-), 男, 山西大同人。硕士研究生, 工程师, 主要从事信息网络运维和网络安全工作, Email: 2171753223@qq.com。

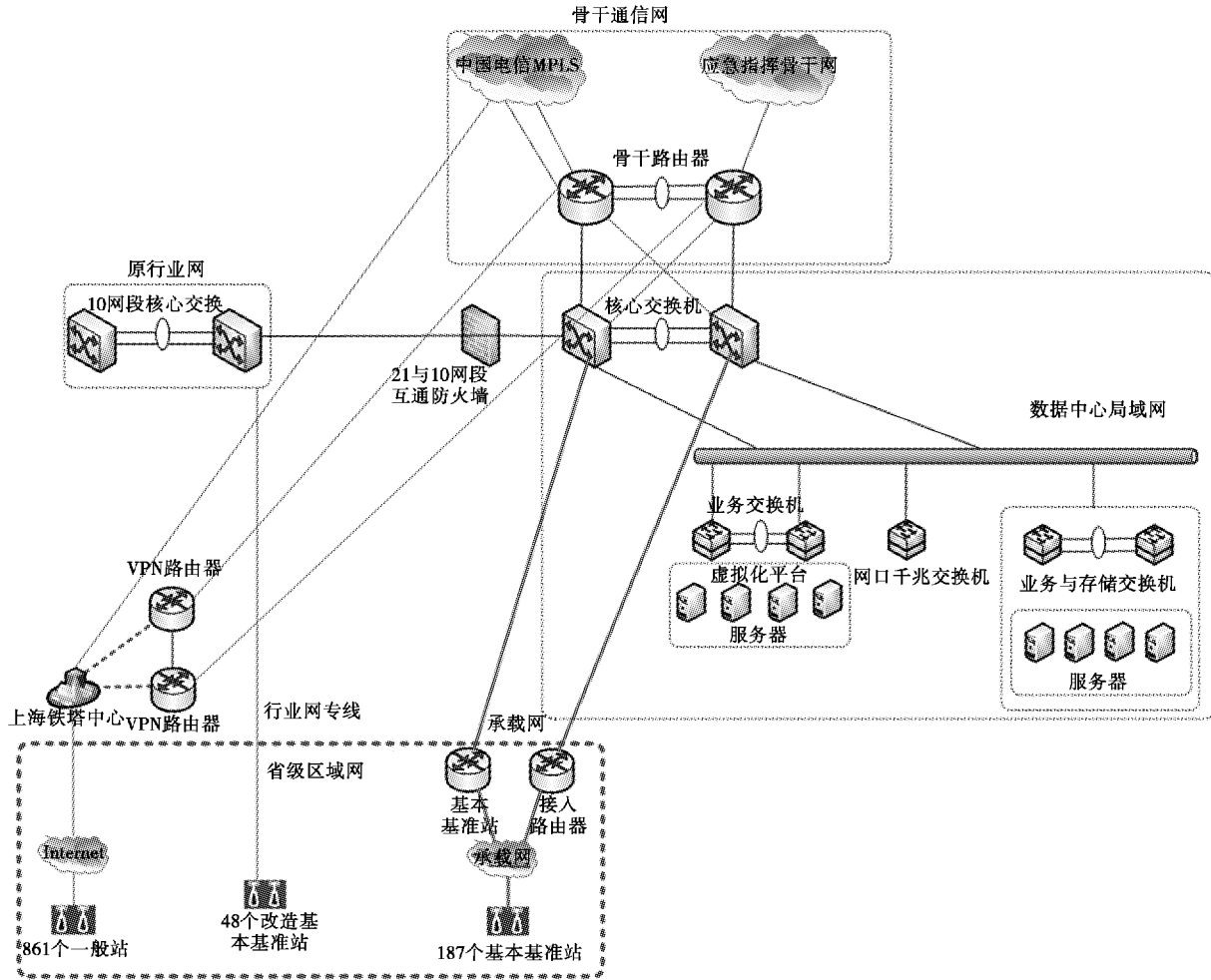


图 1 预警网络拓扑图

Fig. 1 Topology diagram of warning network

## 2 预警区域网运行分析与故障处置

网络运行与故障处置是确保网络可靠性和稳定性的关键环节,通过对山西省地震预警区域通信网的网络运行情况进行统计,并对网络故障处置措施展开分析,确保在最短时间内发现故障并及时处置。

### 2.1 网络运行分析

通过对 2022 年 5 月至 2024 年 5 月山西省地震预警区域网运行情况统计分析(见表 1),预警网络出现通信故障累计 286 次,主要为线路类、供电类、设备类和其他类。其中,线路类故障包括光纤直连改造、光纤断裂、基站故障、运营商链路割接、人为光缆破坏(修路、盖房施工挖断、收割庄稼挂断等);供电类故障包括基站停电、供电线路老化、市电停电、电源故障、供电线路损坏、太阳能供电不足;设备类故障包括智能电源死机故障、路由器故障;其他类故障包括不可抗因素导致的网络故障(暴雨、疫情管控、森林防火等)。

235 条基本基准站通信链路(187 条新建站点和 48 条改造站点)2022 年建成运行至今的平均网络运行率为 99.681%,2023 年 9 月正式运行至今的平均网络运行率为 99.820%,网络运行率及主要故障原因统计分析如表 1 所示。

由图 2 可见,线路类故障出现频率最高,累计出现 205 次,占故障总数的 72%;其次为供电类故障,累计出现 38 次,占故障总数的 13%;设备故障累计出现 14 次,占故障总数的 5%;其他类故障累计出现 29 次,占故障总数的 10%。线路类故障和供电类故障是预警网络故障的主要因素,可通过减少线路类故障,提高通信链路的整体运行质量。

### 2.2 网络故障处置

2022 年 5 月至 12 月平均网络运行率为 99.549%,2023 年 1 月至 8 月为 99.658%,2023 年 9 月至 2024 年 5 月为 99.820%(见表 1),增幅分别为 0.11% 和 0.16%,运行率稳步提高。

(1) 针对线路类和供电类网络故障,主要采取以下3方面措施。

快速报修。排查确认为线路类故障或者运营商供电类故障(基站停电、基站电源故障等)后,运维人员需第一时间拨打运营商故障报修电话。若台站运维人员联系属地运营商无法解决时,省级预警中心则通过省级运营商进行协调处置。

分类处置。省级网络运维人员检查全省网络连通状态,查看和处置网络系统监控告警、检查机房网络设备运行状态、登录运维软件检查网络接口状态,进行400故障报修、运营商故障报修等。中心站运维人员发现基本基准站网络故障,检查故障监测站点的供电、线路、设备等运行情况,核实属地运营商网络运行状态或者运营商基站和机房的供电状态;检查监测站点的市电、太阳能供电等运行状态,通过蓄电池供电、发电机供电应急,并联系电力部门修复供电线路等恢复网络。

预防保障。规定属地电信运维人员每季度巡检通

信线路一次,包括检测通信设备信号光衰、线路等状况,减少线路类故障;按季度巡检基本基准站的供电线路,包括市电输入电压、UPS输入输出电压等供电隐患。

(2) 针对重要网络设备采用冗余备份,确保备机备件更换。

(3) 其他类如遇到不可抗因素导致网络故障,运维人员及时向上级业务部门报备,积极推进运维环境恢复。

(4) 增加10网段的监控告警短信和企业微信通知,设置监控告警后平均网络运行率增加0.14%。

(5) 网络设备交流供电改接为光纤直连设备,解决140个基本基准站因市电断电导致的网络故障。

(6) 完善与运营商的运维机制,压实线路维护责任。要求为运营商提供属地客户经理的联系方式和运营商机房24小时值守电话,运营商线路割接要提前报备。

表1 山西省地震预警基本基准站网络运行统计表

Table 1 Basic and benchmark station network operation statistics

时间	网络运行率(%)	通信链路故障原因
年一月		
2022-05	99.441	更换光模块传输方式,市电停电电信设备断电
2022-06	99.617	停电,市电线路故障且太阳能供电不足
2022-07	99.847	光缆断裂,电瓶故障,学校供电中断
2022-08	99.510	暴雨导致基站故障,供电线路老化等
2022-09	99.368	施工、修路挖断光缆,太阳能供电不足
2022-10	99.472	光缆断裂,基站故障,供电中断
2022-11	99.518	光缆断裂,电源故障
2022-12	99.618	光纤光缆中断,供电线路损坏
2023-01	99.897	更换光模块传输方式,市电停电电信设备断电
2023-02	99.799	停电,市电线路故障且太阳能供电不足
2023-03	99.884	光缆断裂,电瓶故障,学校供电中断
2023-04	99.291	暴雨导致基站故障,供电线路老化等
2023-05	99.718	施工、修路挖断光缆,太阳能供电不足
2023-06	99.655	光缆断裂,基站故障,供电中断
2023-07	99.880	光缆断裂,电源故障
2023-08	99.139	光纤光缆中断,供电线路损坏
2023-09	99.564	太阳能供电不足,电源故障
2023-10	99.840	电信基站故障、电信基站附近更换变压器、电信机房割接
2023-11	99.750	光缆断裂、基站故障、电信基站停电、光缆损耗大、网络割接、智能电源故障、微波故障、更换电源、停电、路由故障
2023-12	99.650	供电线路故障、光缆断裂、基站故障、网络故障、停电、太阳能供电故障、电信基站搬迁、移动线路割接、移动基站故障、太阳能供电故障
2024-01	99.860	信号不稳定导致链路闪断、电信机房网络线路松动导致网络中断、电信机房搬迁、光缆断裂、基站故障、大雪电池缺电、太阳能供电故障
2024-02	99.944	供电故障、市电停电、智能电源没电导致网络故障、光缆断裂、电信基站故障
2024-03	99.942	光缆断裂、4G信号差导致网络故障、基站停电、电信基站故障,电信基站设备故障,太阳能供电故障
2024-04	99.931	光缆断裂、供电故障、基站故障
2024-05	99.899	光缆断裂、基站停电、基站故障、基站设备故障
平均运行率(%)	99.681	



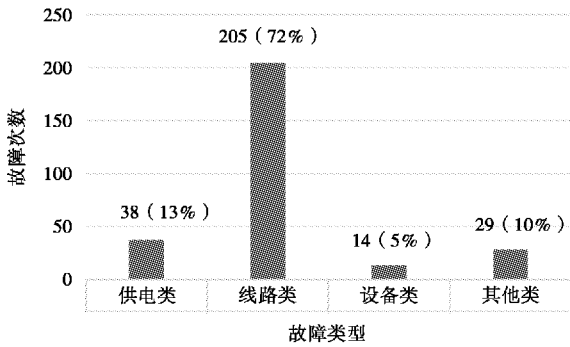


图2 预警基本基准站通信链路故障类型统计图  
Fig.2 Statistical chart of communication link failure types for basic and reference stations in early warning

### 3 预警区域网的运行监控方法

山西预警网络运行监控分别通过网络管理系统、预警智和网管平台监控实现故障短信告警和企业微信告警。

(1) 网络系统监控全部链路。

梳理预警基本基准站 187 条新建电信链路和 48 条改造站移动链路的网络,明确链路接入情况,如光纤接入、电口接入或者无线接入方式,建立网络资产台账,将

资产添加到网络管理系统或预警智和网管平台中。

(2) 技术方法实现链路监控告警<sup>[4]</sup>。

通过配置网络管理系统和预警智和网管平台 2 个系统的异常告警、恢复告警、指标阈值规则配置,实现链路故障、恢复告警功能,通过双设备冗余监控,提高网络运行质量。

通过手动配置预警通信链路的 SNMP 通信协议、关键指标(内存、CPU、ICMP)、运维告警人员、涉及台网管理的企业微信人员信息等,并添加到网络管理系统<sup>[6]</sup>,即可实现通信链路故障企业微信告警通知。同时网络管理系统具有网络运行监控、报表生成等功能,可实现每日故障统计、周报表,月报表的运行统计。

通过配置预警通信链路的 SNMP 通信协议,采集预警系统运行所涉及的所有通用软、硬件的运行数据信息,包括性能数据(CPU 利用率、内存利用率、网络和磁盘 IO、带宽利用率等)、硬件状态(电源状态、磁盘状态、风扇状态等)、事件信息(硬件告警、接口通断等)到预警智和网管平台中,可实现通信链路故障手机短信通知。

(3) 告警信息采用分区域多种方式接收。

按照管辖区域分组,一旦有告警信息,可根据故障点所在区域向运维人员发送手机短信或企业微信(见图 3),方便责任区域的预警运维人员及时接收告警信息,第一时间联系运营商及时处置网络故障。



图3 预警基本基准站通信链路故障告警  
Fig.3 Warning basic and reference station communication link fault alarm

### 4 结论

山西省地震预警区域通信网作为山西省内地震速

报与预警的核心业务网络,承载着数据交换、业务运行、信息发布等重要功能,通过系统梳理网络运行情况,总结故障原因,给出排查与处置措施,为保障网络

运行提供了技术参考。

(1) 故障主要包括线路类、供电类、设备类和其他类。其中线路类故障占比最高,达72%,供电类故障占比13%。

(2) 针对线路类和供电类故障,采取快速报修、分类处置、预防保障三项措施。针对设备类故障,则采取增加网络监控、更改供电方式或更换备用设备等措施。

(3) 采用网络管理系统和预警智和网管平台2个网络运行监控系统后能在第一时间发现故障,有效提高预警网络运行质量,网络运行率由99.681%提高到99.820%。

### 参考文献:

- [1] 马凝芳,蒋皓,张玉涛,等.信息通信网络运行事故分析与对策[J].安全,2023,44(2):71-76.
- [2] 罗丹,张治兵.通信网络运行安全风险[J].中国电信业,2022(8):69-72.
- [3] 王亚茹,李冬圣,王红蕾,等.河北省地震行业网的现状和分析[J].网络安全技术与应用,2023(8):123-124.
- [4] 马晓妹,朱琳.可视化网络智能运维管理平台在地震信息网络中的应用[J].甘肃科技,2021,37(5):21-22.
- [5] 李佳辑,许亮.基于开源软件的西藏地震网络监控系统的应用[J].高原地震,2021,33(2):58-61.

## Operation and Analysis of Shanxi Earthquake Early Warning Regional Network

LIU Junfang<sup>1,2</sup>, GU Ligu<sup>1,2</sup>, CHEN Cuntian<sup>1,2</sup>, ZHANG Jiarui<sup>1,2</sup>, GAO Xiang<sup>1,2</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** The regional communication network for earthquake warning in Shanxi Province has been in operation for more than two years. Through systematic analysis of network operation, communication link operation rate, and fault causes, it can be concluded that network faults mainly include line type, power supply type, equipment type, and other types. Among them, line faults account for the highest proportion, reaching 72%, and corresponding fault handling measures are provided for different faults. Especially with the implementation of network operation monitoring, faults can be detected in the first time, effectively improving the quality of earthquake warning network operation, ensuring the reliable and stable operation of earthquake warning business system, and improving the timeliness of earthquake rapid warning.

**Key words:** earthquake warning regional network; basic benchmark station; operating rate; link failure analysis

## · 工作论坛 ·

文章编号:1000-6265(2024)03-0048-03

## 国家重点建设项目档案管理研究

## ——以国家地震烈度速报与预警工程山西子项目为例

许振鹏<sup>1,2</sup>,张瑞芳<sup>1,2</sup>,刘敏娟<sup>1,2</sup>,李媛媛<sup>1,2</sup>,张正霞<sup>1,2</sup>

(1.山西省地震局,山西太原030021;2.太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,山西太原030025)

**摘要:**国家地震烈度速报与预警工程项目是中国地震系统完成的国家重点建设项目,已建成大规模的地震预警系统,可有效减轻地震灾害损失,同时,该项目也产出大量的项目档案。以国家预警工程山西子项目档案管理为例,分析存在问题,探索解决方法,总结经验,并从提升兼职档案人员整体素质、建立健全体制机制、推进档案信息化建设等方面探讨地震重点项目档案的科学规范管理,为后续山西省巨灾防范工程等重点建设项目档案的管理提供借鉴,为提高项目档案的利用服务质量打好基础。

**关键词:**重点建设项目;档案管理;项目档案;国家预警项目

**中图分类号:**G273

**文献标志码:**A

## 0 引言

为更好地推进我国防震减灾事业发展,不断减轻地震灾害损失,近几年,国家陆续开展国家地震烈度速报与预警工程、巨灾防范工程等重大地震建设项目。其中,国家地震烈度速报与预警工程项目(以下简称预警项目)已全部完成并通过验收,建成全球规模最大的地震预警系统<sup>[1]</sup>。该系统可实现高效的地震网络通信,具备智能专业的地震数据处理能力,多渠道广覆盖的紧急地震信息服务和全流程质量控制技术保障能力,总体功能与性能达到世界先进水平。项目档案能够直观、全面反映项目的建设过程,为记录项目工程的实施留存珍贵史料。与之前传统的建设项目档案相比,预警项目档案数量较大、种类多样、管理要求高,特别是项目成果的数字产品,产出以数据信息为基础的数字化档案,对档案管理提出更高的要求。文章以国家地震烈度速报与预警工程项目山西子项目(以下简称山西子项目)档案的收集、归档、管理为基础,探讨国家重点建设项目的档案管理,为今后大数据、人工智能和深度学习等技术在国家重点建设项目档案管理方面的应用提供一定的参考<sup>[2-5]</sup>。

## 1 山西子项目档案概况

山西子项目共建设台站1096个,总建筑面积1720.80 m<sup>2</sup>,购置设备5618台(套)。主要建设内容

包括台站观测系统、通信网络系统、数据处理系统、紧急地震信息服务系统、技术支持与保障系统。

收集整理档案资料共314卷,光盘26张,数码照片636张,竣工图纸1343张,电子文件约33 G。档案资料涉及纸质、光盘、数码照片、竣工图纸等多种载体形式,项目档案的整理组卷遵循文件材料的形成规律及成套性特点,在保持卷内文件有机联系的前提下,将各部分材料按内容、性质、时间等原则进行整理、组卷。文件材料包含中国地震局、中国地震台网中心、山西省地震局项目管理文件,遴选报告、设计与投资预算、场地测试及勘察报告、投标材料、合同书、工程量清单、变更单、追加审批表、施工图纸、验货清单、测试报告、试运行报告、审核报告、竣工报告、验收报告、验收意见、审计报告等。

## 2 山西子项目档案工作管理

### 2.1 制度支撑

山西子项目档案管理主要执行《中国地震局基本建设项目档案管理办法》(中震办〔2019〕1号)、《重大建设项目档案验收办法》(档发〔2006〕2号)、《建设项目档案管理规范》(DA/T28-2018)、《国家地震烈度速报与预警工程项目档案管理细则》(震台函网〔2019〕304号)。山西省地震局结合实际情况,按照职责明晰、措施有效、要求具体的原则,编制《国家地震烈度速报与预警工程山西子项目项目档案管理细则》并严格

收稿日期:2024-04-28

第一作者简介:许振鹏(1991—),男,山东德州人。工程师,主要从事档案管理、应用系统软件、网站工作,E-mail:363861485@qq.com。

通讯作者:张瑞芳(1973—),女,山西昔阳人。高级工程师,主要从事期刊编校出版、档案资料管理工作,E-mail:531585164@qq.com。

执行。

## 2.2 组织支撑

基于山西子项目参与建设单位多、档案文件分散的情况,按照统一管理、统一制度、统一标准、责任到岗到人的工作模式,成立档案管理小组,由党组成员分管副局长负责项目档案总体管理工作。档案管理小组在各项目子项设立兼职档案员,负责管理各子项目在实施过程中产生的档案,即负责档案的及时收集、整理,以确保档案的真实、准确、完整、系统。局档案管理部门负责对项目档案在收集、整理、组卷方面进行业务指导,并按项目进度适时督促、检查项目兼职档案员的工作,及时了解档案工作开展情况。通过开展阶段性项目档案的验收,提出整改意见,及时发现并解决存在的困难和问题,以保证项目档案每个阶段的质量把控。

## 2.3 技术支撑

山西省地震局配备档案管理系统,具有基本的电子文件归档、查询等功能。因项目兼职档案员缺乏档案方面的专业知识与实践,为此,根据实际情况,联系档案专家,不定期组织业务培训对存在的问题开展现场交流、解答,不断提高项目兼职档案员对档案重要性的认识和规范实操的技能。专职档案员在检查工作时,从档案的收集、分类整理等方面的规范入手,进行现场手把手地指导。鉴于重大项目的特殊性,推荐专职档案员到先进单位学习工作经验和业务知识,形成从上到下层层学习、严格把关的工作机制,为实现项目档案归档规范、高效、高质量打下技术基础。

## 3 山西子项目档案工作实施

山西省地震局将项目档案工作融入项目建设,与项目建设管理同步,并纳入项目建设计划、管理程序、合同管理和岗位责任制。项目工作小组组长参加项目调度会议,项目兼职档案员全程参与项目建设。

### (1) 细化各项档案工作的具体任务。

项目前期及时收集上级管理部门文件、项目管理制度规定、勘选、测试、环评、可行性分析、审批、用地、方案设计、设计与投资预算等环节产出文件;项目建设实施阶段,围绕台站建设、中心站建设、终端建设工作进度,做好资料收集工作(台站建设方面分为土建、设备、集成、试运行、验收,中心站建设方面分为土建、设备、集成、联调、试运行、验收,在终端建设方面分为设备、集成、联调、试运行、验收);项目建设完成后,做好测试报告、试运行报告及编制验收报告的收集整理工作,完成项目验收工作(见图1)。

### (2) 紧抓细节,严把规范。

为减少项目档案在整理和移交过程中对纸质图纸的损坏,项目实施部门要求设计单位在图纸移交前按规定折叠、整理。预警中心建设图纸施工地点较集中,图纸均按统一标准装订成册进行移交,保证图纸完整、

版面及标注等的规范。对于电子文件档案,山西省地震局对大部分文件进行扫描,生成电子文档,并以项目(合同)为单位进行刻盘归档;对于照片档案,在设备交货、验货,项目隐蔽工程、关键节点等进行拍照留存,并将电子照片整理刻盘单独归档。

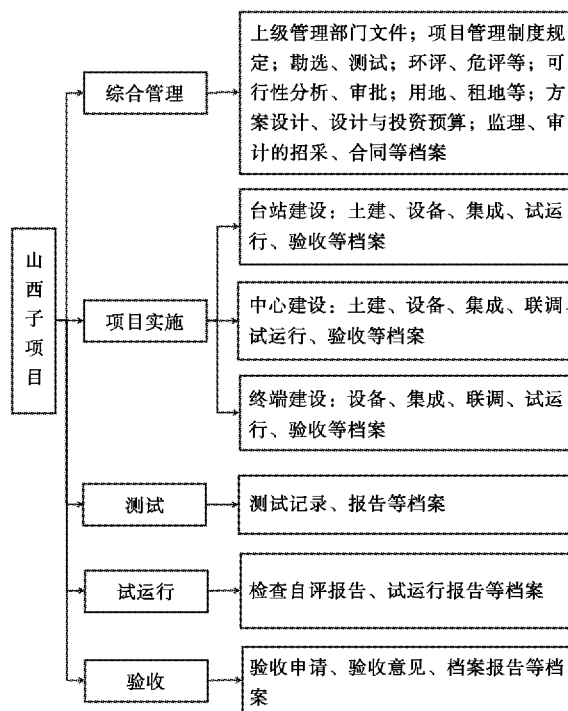


图1 山西子项目档案业务结构图

Fig.1 Archive business structure of Shanxi sub project

### (3) 实现档案工作的无缝对接。

山西子项目历时约8年,由于机构改革造成职能变更和人员岗位的变动,出现负责项目的相关人员和项目兼职档案员的多次调整。为保证项目档案的连续、完整、规范,及时对变动情况进行统计,与相关管理部门和人员多方沟通,制定交接流程,签订交接清单,明确责任,实现工作上的无缝对接,避免因人员变动对档案工作的影响。同时,对新接任的项目兼职档案员进行一对一的业务指导,杜绝差错,紧跟整体进度。

## 4 项目档案管理的思考和改进建议

### (1) 强化档案意识,提高项目兼职档案员整体素质。

国家重点建设项目的子项目较多,需要配置较多的项目兼职档案员。大部分兼职档案员缺乏档案专业知识,对档案的重要性认识不到位,思想上不重视档案的收集,不清楚收集的方式、范围,易造成无法补救项目前期档案遗漏的问题。因此,在项目启动前,档案培训要先行。同时,国家重点建设项目持续时间长,易出现子项目负责人和项目兼职档案员的更换,有必要选

择有项目档案工作经验的人员全程参与项目建设会议,了解项目进展及人员更换情况,及时指导项目兼职档案员开展工作,避免因人员变动造成的档案收集、管理的断档和遗失;制定相关规章制度,做好档案的移交,明确相互的责任,确保档案的连续、真实、完整。培训时,除进行专业知识的讲解外,还要强化档案意识,养成严谨的工作作风。避免兼职档案员因操作不当导致用文件复印件归档,归档文件中缺少签字、日期、单位名称,工程过程图片拉伸形变、文件附件丢失、某环节文件漏归等现象发生,减少对档案价值及利用造成的影响。

(2) 建立健全项目档案工作机制,完善项目档案规章制度。

在项目档案工作中,项目实施组作为文件材料主要产出部门,是整个项目归档工作的基础;档案管理部门负责档案的规范化、标准化工作,是整个项目归档工作的质量管控部门。如缺少项目管理部门的配合,档案管理部门很难发挥应有的制约作用。因此,项目管理部门应建立健全项目档案工作机制,明确各项目实施组、项目档案组的职能和职责,做到分工明确、有序衔接、通力配合。项目实施组与建设单位、项目监理签订合同或协议时,也应明确项目档案归档要求,在条款中商定需负责归档的范围及标准。档案管理部门应制定一套标准、完善的管理制度和技术规范,对项目实施组、项目档案组、项目兼职档案员的职责要有明确的规定,避免交叉和职责不清;档案规范应全面易懂,提高兼职档案员对归档工作的实操性技能。

(3) 重视信息化技术应用,推进项目档案数字化建设。

项目档案主要是为项目结束后的运维、改造、审查及新项目的开展提供有价值的参考资料。随着大数

据、云计算等先进技术的发展,工程项目文件的载体形式、管理理念正全面向信息化、数字化方向转变,先进的项目档案管理技术可提供高效、精准、快捷的档案利用服务<sup>[4]</sup>。目前,地震系统缺乏熟知档案管理又能熟练进行计算机软件开发的人才,相关部门也对项目档案信息化建设不重视,缺乏经费上的支持,致使信息化程度较低<sup>[5]</sup>。地震系统在震情观测、震后应急、震情研判、观测设备维护方面对工作时效要求较高,运用先进的信息化项目档案管理系统可实现在线快速查询、下载等功能,高效发挥项目档案的利用价值。

## 5 结语

随着防震减灾事业的快速发展,国家重点建设项目的实施,地震高科技、防震减灾新技术的出现,对记录其发展过程及发挥其应用价值的地震档案也提出更高的要求。面对数据量大、形式多样的档案,档案工作者需要运用新技术、新理念加强管理,不断提高档案的利用价值。

## 参考文献:

- [1] 朱少华. 国家重大项目档案管理系统建设浅析——以国家地震烈度速报与预警工程项目为例[J]. 山东档案, 2021, (3): 79-81.
- [2] 陈璐, 潘运方. 工程建设项目档案的必要性和重要性[J]. 城建档案, 2021, (2): 46-49.
- [3] 窦立婷, 李冬梅, 任力伟, 等. 国家地震烈度速报与预警工程山西子项目综述及应用分析[J]. 山西地震, 2019(4): 52-56.
- [4] 尹怡晗. 关于重大测绘地理信息项目档案管理的思考[J]. 陕西档案, 2024(1): 36-38.
- [5] 马志怡. 顺应信息技术发展趋势探究工程项目电子档案全过程管理[J]. 兰台内外, 2022(9): 22-24.

# Research on Archive Management of National Key Construction Projects ——Taking the Shanxi Sub Project of the National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning Engineering as an Example

XU Zhenpeng<sup>1,2</sup>, ZHANG Ruifang<sup>1,2</sup>, LIU Minjuan<sup>1,2</sup>, LI Yuanyuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhengxia<sup>1,2</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** The National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning Project is a national key construction project completed by seismic system of China. A large-scale earthquake early warning system has been built, which can effectively reduce the losses caused by earthquake disasters. At the same time, the project also produces a large number of project files. Taking the archive management of the Shanxi sub project of the National Early Warning Project as an example, this paper analyzes the existing problems, explores solutions, summarizes experience, and explores the scientific and standardized management of earthquake key project archives from the aspects of improving the overall quality of part-time archive personnel, establishing sound institutional mechanisms, and promoting archive information construction. It provides reference for the management of archives of key construction projects such as the Shanxi Province Catastrophe Prevention Project in the future, and lays a solid foundation for improving the utilization and service of project archives.

**Key words:** key construction projects; archive management; project archives; national early warning project

# 校园地震预警科普宣传现状及展望

兰思莹<sup>1,2</sup>,张瑞芳<sup>1,2</sup>,陈存田<sup>1,2</sup>,徐博<sup>1,2</sup>,张馨怡<sup>1,2</sup>

(1.山西省地震局,山西太原030021;2.太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,山西太原030025)

**摘要:**随着山西省地震预警服务的开通应用,及时广泛开展地震预警科普宣传已成为地震宣传部门的重要工作之一。为进一步做好校园地震预警科普宣传工作,从现阶段校园地震预警科普宣传现状和意义入手,以地震工作者的角度阐述目前存在的问题,并提出下一步的具体策略,以更好地引导校园师生掌握地震预警知识、提高应急避险技能,切实发挥校园地震预警实效,最大限度减轻地震灾害损失。

**关键词:**防震减灾;地震预警;学校师生;科普宣传

**中图分类号:**P315.9-4

**文献标志码:**A

## 0 引言

随着防震减灾现代化技术的不断发展,地震预警成为减轻地震灾害损失的有效手段之一,得到大范围的推广应用。目前,我国多个省份已开通实现地震预警社会服务<sup>[1]</sup>,其中,校园地震预警也是地震预警社会服务的重要组成部分。根据《中国地震局教育部关于开展中小学校预警台站和预警信息服务系统试点建设的意见》和《关于国家地震烈度速报与预警工程山西子项目中小学校预警信息服务系统试点建设的函》要求,山西省已有285所中小学校安装部署专用地震预警终端和喇叭终端,初步建成山西地震预警信息校园示范服务系统(以下简称地震预警校园服务系统,见图1)。经过技术测试,山西省校园地震预警终端于2024年4月已可正式对外发布地震预警信息。

截至2024年8月,校园地震预警终端对2024年4月25日21时00分在山西省临汾市襄汾县发生的3.2级地震和2024年5月19日3时35分在山西省大同市阳高县发生的3.9级地震进行预警信息发布,为所在地区学校提供预警时间、预估烈度等相应地震预警信息服务(见表1、表2)。

地震预警校园服务系统的建成和开通对提升校园的防震减灾能力、筑牢地震安全防线具有一定的意义,同时对校园地震预警科普宣传工作也提出新的更高要求。地震部门专业人员应就地震预警信息、地震预警终端、地震预警原理与应对措施等方面的知识开展有针对性的解读与科普宣传,并积极探索适合校园的地

震预警科普宣传模式和途径。本文基于校园地震预警科普宣传工作的意义和现状,从地震工作者的角度阐述目前在开展校园地震预警科普工作中存在的问题,并就做好校园地震预警宣传工作进行探讨与展望。

## 1 校园地震预警科普宣传的重要意义

(1) 普及知识点,培养地震安全意识。

地震预警知识是地震科普的一项重要内容,通过对校园师生普及地震预警作用、预警信息发布、收到预警信息后的应对措施、地震预警演练等相关知识,能够有效指导校园师生做好震前应急准备、掌握震时避震技能,发挥减灾实效,最大限度减轻震时人员伤亡和财产损失。

(2) 激发兴趣点,埋下探索地震科学的种子。

以地震预警技术为切入点,在科普过程中围绕地震预警原理、地震预警等级、地震预警盲区等相关知识,引导青少年科学认识地震灾害,激发青少年对地震基础知识、地震监测预报、地震灾害防御等方面的兴趣,进一步加强青少年人群对地震科学、自然科学知识的探索,不断提升青少年科学素质<sup>[2]</sup>。

(3) 以学生为原点,让地震预警科普“辐射”千家万户。

以在校师生为原点,通过教育一个学生,带动一个家庭,影响整个社会,以点带面科普地震预警,增强传播力,扩大影响面,进一步提升全社会抵御地震灾害的综合防范能力,达到保障一方平安的目的。

收稿日期:2024-07-29

第一作者简介:兰思莹(1990—),女,山西新绛人。工程师,主要从事防震减灾宣传科普工作,E-mail:565201497@qq.com。

通讯作者:张瑞芳(1973—),女,山西昔阳人。高级工程师,主要从事期刊编校出版、档案资料管理工作,E-mail:531585164@qq.com。





图1 山西地震预警信息校园示范服务系统终端测试

Fig.1 Terminal test of Shanxi earthquake early warning information campus demonstration service system

表1 2024年4月25日山西临汾市襄汾县3.2级地震50 km范围内预估烈度3度及以上地区校园预警终端信息发布情况统计表  
 Table 1 Statistical table of campus warning terminal information release in areas with estimated intensity of 3 or above within 50km of the 3.2-magnitude earthquake in Xiangfen County, Linfen City, Shanxi Province on April 25th

序号	设备类型	用户名称	预估烈度	距震中(km)	预警时间(s)	预警等级	是否发出警报
1	液晶终端	山西省运城市新绛县龙兴镇新绛中学	3	24	0	黄色	否

表2 2024年5月19日山西大同市阳高县3.9级地震50 km范围内预估烈度3度及以上地区校园预警终端信息发布情况统计表  
 Table 2 Statistical table of campus warning terminal information release in areas with estimated intensity of 3 or above within 50km of the 3.9 magnitude earthquake in Yanggao County, Datong City, Shanxi Province on May 19th

序号	设备类型	用户名称	预估烈度	距震中(km)	预警时间(s)	预警等级	是否发出警报
2	液晶终端	山西省大同市阳高县龙泉镇培仁学校	4	2	0	黄色	否
5	液晶终端	山西省大同市天镇县玉泉镇天镇县第二中学	4	25	0	黄色	否
7	液晶终端	山西省大同市天镇县玉泉镇天镇县第一小学	4	28	1	黄色	否
9	液晶终端	山西省大同市云州区东街街道云州区初级示范中学	3	38	4	黄色	否
13	液晶终端	山西省大同市云州区经济技术开发区大同市开发区实验小学	3	45	6	黄色	否
14	科普终端	山西省大同市云州区经济技术开发区大同市开发区实验小学	3	45	7	黄色	否
15	液晶终端	山西省大同市云州区经济技术开发区大同市实验中学	3	46	7	黄色	否
16	科普终端	山西省大同市云州区经济技术开发区大同市开发区第一小学	3	46	8	黄色	否
17	液晶终端	山西省大同市阳高县友宰镇友宰中学	3	46	7	黄色	否
20	液晶终端	山西省大同市云州区经济技术开发区大同市开发区第一小学	3	46	6	黄色	否

## 2 校园地震预警科普宣传现状与不足

近年来,山西省地震局围绕地震预警做了大量科普宣传工作。利用“5·12 防灾减灾宣传周”“7·28 唐

山地震纪念日”“全国科普日”等重点时段深入开展各类宣传活动。例如,在防震减灾“六进”主题宣传活动中向公众现场展示地震预警终端、讲解地震预警知识、发放地震预警折页资料。通过在山西综合广播、山西

交通广播等平台栏目开展地震预警专家科普等活动。日常时段在山西省地震局官方微信、微博、抖音新媒体平台对地震预警知识进行常态化宣贯科普<sup>[3]</sup>。除此之外,还积极创作形式多样的地震预警相关原创科普产品,如《地震预警 争分夺秒》公益广告、《收到地震预警信息怎么办?》等多部科普短视频,并在中国地震局融媒体中心、山西广播电视台等国家和省级媒体平台进行宣传推广,取得一定成效<sup>[4]</sup>。

然而,在国家和社会普遍关注的校园地震预警方面,科普宣传上仍存在一定缺失,且存在缺乏整体规划、科普宣传方式传统单一、缺少有针对性科普产品的问题,导致学校师生对地震预警相关知识认识不足、地震预警避险的意识和能力不强<sup>[5]</sup>,在一定程度上制约校园地震预警发挥减灾实效。

#### (1) 校园地震预警服务系统科普存在缺失。

校园地震预警终端安装完成后,缺乏紧随其后的地震预警终端使用、预警信息解读与收到预警信息如何科学避震的相关科普,校园地震预警科普呈现出一定的滞后性,导致校园地震预警建设与科普教育进度不匹配,校园师生对地震预警的认知水平参差不齐。主要表现在:一是预警终端较多被安装在校园的过道拐角、走廊或传达室等相对隐蔽区域,终端“显示度”不高,未能引起广大师生关注;二是部分师生虽已关注到新安装的地震预警终端和大喇叭,但“只知其物,不知其用”;三是部分校园师生已熟悉地震预警终端的日常状态,而对震后地震预警警报状态相对陌生,导致师生在听到地震预警警报时易产生慌乱情绪,从而采取过激或不当的避险措施,引发不必要的伤亡<sup>[6]</sup>。

#### (2) 校园地震预警科普宣传缺乏整体规划。

地震预警作为防震减灾公共服务的一项长期内容,本应逐步推进并实现地震预警相关知识在校园师生及其他社会公众中的科普全覆盖。但目前,校园地震预警科普缺乏整体规划,仍多集中在重点时段防震减灾“进校园”宣传活动中;在开展科普的地点和内容安排上呈现临时性与随机性,未针对学生不同年龄层次制定不同的宣传策略<sup>[7]</sup>;忽视对学校长期常态化科普,未能较好地利用其他省份预警震例或本地震后时机开展地震预警科普宣传,致使在校师生对地震预警知识印象不深,不能真正了解地震预警的现实意义。

#### (3) 校园地震预警科普宣传方式传统单一。

当前,开展校园预警科普方式仍主要以课堂宣讲为主、发放宣传资料为辅,方式传统老旧、形式单一。课堂宣讲多为灌输式的单向科普,学生在接受地震预警知识时相对“被动”,缺乏良好的科学体验与双向互动,不能较好地挖掘和激发出学生对地震前沿科技的兴趣,导致主动性和积极性不强<sup>[8]</sup>。课堂宣讲存在时间长、频次低、规模小的问题,学校师生对地震预警知识一知半解,无法满足新时代学生对科学知识的学习

需求。

#### (4) 缺少针对性的校园地震预警科普产品。

目前,山西省地震宣传部门创作的地震预警科普宣传产品多为“通用型”科普产品,在创作时往往以适用于各类场所、不同受众为目的,欠缺专门针对校园地震预警科普的专题产品。“通用型”科普产品在校园宣传时常表现为:一是科普内容较笼统,存在内容上“全而不专、片面而不深入”“点到为止”的问题,对不同场所、不同人群的科普内容缺乏深度细化;二是吸引力不足,产品以图文和短视频为主,内容和形式单一,未结合青少年年龄特点与喜好做出相应侧重,产品缺乏趣味性与探究性,无法引起学生的兴趣与关注。

### 3 展望

随着校园地震预警服务的持续推进,及时开展面向校园的地震预警科普宣传可有效普及地震预警知识、提升校园师生对地震预警的实际应用能力。为发挥校园地震预警减灾实效、提升校园地震安全水平起到积极作用,建议从以下几方面推动校园地震预警科普宣传开展。

#### 3.1 加强对校园地震预警科普宣传的重视与整体规划

掌握地震预警相关知识是提高学校师生防震减灾意识和增强应急避险能力的重要手段,要充分认识到做好校园地震预警科普宣传的必要性与紧迫性,加快填补校园地震预警科普空缺,提高校园地震预警科普的时效性与覆盖率。在实施过程中,一是要制定有针对性的宣传策略,根据学校条件、学生年龄和文化程度等方面存在的差异,科学调整宣传策略<sup>[9]</sup>,并结合实际对学校及师生进行分类指导;二是加强与教育部门、宣传部门、新闻媒体、社区的沟通合作,加大对学校科普工作在人力、物力、财力等方面的支持;三是将重点时段科普与常态化科普相结合,精心策划重点时段防震减灾“进校园”活动,持续推进地震预警科普知识的常态化普及,分步骤、分阶段、分地区、有计划地提升校园地震预警科普知识宣传成效。

#### 3.2 丰富校园地震预警科普宣传形式

顺应科普宣传教育社会化、信息化和网络化发展趋势<sup>[10]</sup>,通过丰富校园地震预警科普宣传手段,带领学生以多维度视角学习地震预警知识,变“被动”接受为主动学习,进一步提升学生对地震预警知识的关注。

##### (1) 利用好学校课堂“主阵地”。

青少年获取知识的主要途径是课堂学习<sup>[11]</sup>,要通过多彩多样的课堂形式吸引学生注意、提高教学效果。如优化教学互动课件、借助展教具、开展科学实验、利用声光电多媒体技术等,将地震预警知识与动态化产品相结合,增强课堂参与感与互动性,提高青少年实践动手和研究能力,夯实学生知识基础。

##### (2) 将科普融入各项课外活动。

通过举办书画大赛、演讲比赛等活动营造良好的科普氛围;积极提供平台支持,充分发挥地震监测台站、预警中心、防震减灾科普教育基地等场所的科普作用,打造地震科普“第二课堂”,采用研学形式带领学生实地走近“地震预警”,拓宽学生视野。

### (3) 加大“线上”科普力度。

深入贯彻“互联网+科普”理念,联动学校新媒体平台,常态化发布地震预警相关科普知识<sup>[12]</sup>;面向校园师生和社会公众开展地震预警公开课、研学等活动的视频直播;对校开放地震科普网、地震科普“云展馆”等线上平台,为学生学习地震预警知识提供线上资源;与学校和主流媒体协同创作线上栏目,进一步扩大校园地震预警科普传播力。

### 3.3 创作优质校园地震预警科普产品

创新地震预警科普产品内容与形式,加大优质科普产品创作力度,通过生动、趣味、科学地普及地震预警知识,进一步增强校园师生地震预警知识储备,提升震后应急避险能力。

#### (1) 产品内容精细化。

围绕校园地震预警相关知识开展专题创作,对科普内容进行细化整理与系列化创作,尽可能做到全面且深入。例如,在普及地震预警避险知识时,应涉及学校图书馆、体育馆、宿舍、餐厅、实验室等不同场地,不同人群在收到不同等级地震预警警报后的应对措施。通过充分结合校园实际和精细化知识点普及,给予学校师生科学有效的避震行动指导。

#### (2) 产品形式适龄化。

由中国互联网协会网络科普联盟组织的中小学生在“我与网络科普”问卷调查活动显示,中小学生在对科普网站的内容方面,希望“内容更多、更有意思”“最新的内容再多一些、丰富一些”“游戏多一些、益智类多一些、试验多一些、与科学家对话多一些、科普图片多一些”;对科普网站介绍科学知识的形式,中小学生对故事(34%)、动画(29%)、游戏(17%),只有3%的学生喜欢答题、文章的形式<sup>[13]</sup>。由此可见,在视频、图书、小程序、课件等地震预警科普产品创作过程中,应大力倡导自然科学与社会科学相结合、知识性与趣味性相结合,充分考虑不同年龄层次学生对科普作品的喜好和需求,将新时期审美习惯与“潮流”文化相结合,在创作过程中多加入故事化情节和流行元素,使作品更贴近校园生活,提高地震预警科普作品趣味性与吸引力。

#### (3) 产品功能实用化。

以校园师生实用性需求为导向,推进地震预警科普展品、教具、文创产品、玩具等实物类互动性科普作品设计与开发,充分利用移动科普馆、科普大篷车等可移动宣传资源深入校园。在展品中应用虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等现代化技术<sup>[14]</sup>,增强地震预警原理、地震震级与烈度等方面知识的可视化体验,提

升校园师生对地震预警知识的感知水平。

## 4 结论与讨论

基于现阶段校园地震预警科普宣传现状和不足,提出应对策略,为下一步做好校园地震预警科普宣传工作提供理论参考和实践依据。

(1) 提高思想认识,加大校园地震预警科普宣传力度,制定有针对性的宣传策略和长期规划。

(2) 丰富科普宣传手段,开展互动性课堂教学与丰富多样的校内校外活动,推进地震预警“线上+线下”科普,增强学生参与、互动和体验。

(3) 创新校园地震预警科普产品形式内容,结合不同年龄层次学生需求,创作内容具体、功能实用、吸引力强的科普产品,促进科普知识的有效传播与普及。

希望通过以上举措进一步加强校园地震预警科普服务供给,提高校园师生地震预警知识储备与地震应对能力,切实发挥出校园地震预警减灾实效,最大限度减轻校园地震灾害损失。

## 参考文献:

- [1] 金星,马强.从研究到应用:我国地震预警技术的发展[J].防灾博览,2023(1):10-17.
- [2] 王云生.加强中小学科学教育提升青少年科学素养[J].福建基础教育研究,2023(9):4-6.
- [3] 张正霞,张馨怡.官微互动在防震减灾宣传工作中的应用及策略分析——以山西省地震局官方微信为例[J].防灾减灾学报,2020,36(2):82-87.
- [4] 王林.浅谈地震预警科普宣传工作[J].海峡科学,2014(8):83-84.
- [5] 蓝姝,刘贤英,谢明.大学生对地震预警的认知调查——以福建省两所本科院校为例[J].中国应急救援,2016(6):55-60.
- [6] 陈栋梁.地震预警警报在学校教育教学中的实践与探索[J].新课程(中),2016(2):238+240.
- [7] 马玉涛.校园地震安全科普教育途径和方法的研究[J].科技传播,2018(8):157-158.
- [8] 翟颖,马秀丹,崔满丰.地震信息公共服务需求调查分析[J].地震地磁观测与研究,2024(1):165-173.
- [9] 彭涛,黄闻.加强地震科普知识宣传措施研究[J].中国报业,2020(2):48-49.
- [10] 姚兰,张芝霞.对构建新时期防震减灾宣传教育工作体系的思考[J].防灾博览,2021(6):8-13.
- [11] 葛迎庆,李靖.学校——防震减灾教育的主阵地[J].防灾博览,2022(4):56-59.
- [12] 张正霞,闫远芳,刘康廷.我国防震减灾官方微信作品评价体系建设研究[J].今传媒,2021,29(1):30-33.
- [13] 任友群,李锋,赵健,等.2018全民科学素质行动发展战略研究[M].北京:科学普及出版社,2019:52-171.
- [14] 何永年,李巧萍,尉燕普,等.2018全民科学素质行动发展战略研究[M].北京:科学普及出版社,2019:580-625.

## Current Situation and Prospects of Campus Earthquake Warning Science Popularization and Publicity

LAN Sixuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Ruifang<sup>1,2</sup>, CHEN Cuntian<sup>1,2</sup>, XU Bo<sup>1,2</sup>, ZHANG Xinyi<sup>1,2</sup>

(1. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China ;

2. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** With the opening and application of earthquake early warning services in Shanxi Province, timely and extensive earthquake early warning science popularization has become one of the important tasks of earthquake propaganda departments. To further improve the popularization and publicity of campus earthquake warning, starting from the current situation and significance of campus earthquake warning popularization and publicity, this article elaborates on the existing problems from the perspective of earthquake workers, and proposes specific strategies for the next step, in order to better guide campus teachers and students to master earthquake warning knowledge, improve emergency risk avoidance skills, effectively exert the effectiveness of campus earthquake warning, and minimize the losses caused by earthquake disasters.

**Key words:** earthquake prevention and disaster reduction; earthquake warning; science popularization propaganda; school teachers and students

(上接第 42 页)

## Diagnosis and Elimination of Observation Equipment Problems in Basic Second-class Warning Stations

LIU Guojun<sup>1,3</sup>, LI Xiaorui<sup>1,3</sup>, LIU Yaokun<sup>2,3</sup>, YAO Linpeng<sup>1,3</sup>, LI Yun<sup>1,3</sup>

(1. Yuncheng Earthquake Monitoring Center Station of Shanxi Earthquake Agency, Yuncheng, Shanxi 044400, China; 2. Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan, Shanxi 030021, China; 3. National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan, Shanxi 030025, China)

**Abstract:** The National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning Project (Shanxi sub project) was officially put into operation in May 2023 after 5 years of construction. We have sorted out and analyzed the problems found in the site, installation, and observation environment of the Yuncheng Earthquake Monitoring Center Station during the operation and maintenance of the basic second-class station observation equipment, identified the reasons, and provided corresponding solutions. Through rectification, the operation quality has been effectively improved, providing reference and guidance for operation and maintenance personnel to do a good job in early warning monitoring station inspection and maintenance in the future.

**Key words:** warning basic second-class station; operation and maintenance inspection; observation equipment

## 来 稿 须 知

1 《山西地震》是地震科技季刊,以刊登地震监测、预报、科研、工程地震、地震社会学等方面的成果以及防震减灾知识为主,亦刊登国内外地震科技情报资料等。辟有地震预报、观测分析、工程抗震、异常识别、地震社会学、技术革新、技术交流、综合评述、科研简讯、学术动态、问题讨论、外文译摘、外语阅读之窗、专题汇编、新技术讲座、科普园地、资料等栏目。

2 稿件文字力求言简意赅,引用数据、公式应准确,文稿字数以3 000~5 000字为妥,文稿前请附中、英文题名、作者、单位,邮政编码,200字左右的摘要(中文摘要请用报道性文摘,英文摘要应采用第三人称表达式,谓动词尽量用一般现在时或过去时)及3~8个关键词(中英文应一一对应,词与词之间请加分号“;”)。篇首页地脚请附第一作者的作者简介,含姓名、性别、出生年月、籍贯、职称(务)、主要从事工作、电子信箱地址等。获基金资助产出的文章,请注明基金项目名称及项目编号。

3 文稿中的层次标题应简短明了,以不超过15字为宜,题目不用任何标点符号。各层次一律用阿拉伯数字编号,不同层次的数字之间用下圆点“.”相隔,最末数字后不加标点,空一格写标题,每个层次序号一律左顶格书写,如“1 ×××;1.1 ×××;1.1.1 ×××;1.1.1.1 ××××;列项说明第一级用1),2);第二级用(1),(2)”。

4 图中文字清楚并请标注于相应位置上,并标明图序、图名。图序用阿拉伯数字书写,图序与图名间空一格,不加任何标点,图序和图名居中书于图下。曲线图的纵横坐标必须标出量和标准规定的符号、单位,这三者只有在无量纲的情况下方可省略。坐标上标注的量的符号和缩写词必须与正文一致,图中坐标的量和单位符号应分别置于纵横坐标轴的外侧,居中书写,横坐标自左向右,标值线朝上,纵坐标顶左底右,标值线朝右。图序、图名、文字、符号等应与正文一致。图件按比例存成300像素的tif格式图。

5 文稿中请用GB 3100~3102量和单位中规定的量和单位的符号。量的符号用斜体,单位的符号用正体。

6 公式中的外文请书写清楚,注明文别、大小写、正斜体、上下角标等。

7 作者姓名及单位请写在标题之下。

8 译稿请在译文末写明译自何刊、刊期、起止页码。译稿请交寄原文及作者或出版单位的授权函,以便校译。

9 文稿中的数字,公历世纪、年代、年、月、日和时刻,计数与计量(含正负整数、分数、小数、百分比、约数)等,请使用阿拉伯数字;年份请不要简写;4位和4位以上的数字,应采用3位分节法,即节与节之间空1/4个汉字的位置;尾数零多的5位以上的数字和小数点后零多的小数可采用乘以 $10^n$ 或 $10^{-n}$ 的写法。用数字作为词素构成定型的词、词组、惯用语、缩略语等,请用汉字;相邻的两个数字并列连用表示概数,请用汉字(但连用的两个数字之间请不要用顿号);星期几、中国干支纪年和夏历月日和中国清代以前的历史纪年,不是表示科学计量和具有统计意义中的一位数,请使用汉字。

10 参考文献请按国家标准GB/T 7714-2015的规定书写。即图书及其他单行本的著录项目及次序为:[序号] 著者姓名.书名[M].版次(第1版可不标).出版地:出版者,出版年:页次。期刊论文的著录项目及次序是:[序号] 著者姓名.论文篇名[J].刊名,出版年,卷号(期号):页次。

参考文献的序号按文中出现的先后顺序,以阿拉伯数字标注,用方括号括起置于行文之中或指引部分的右上角,引用多篇文献时,只需将文献的序号在方括号内全部列出,各序号间用“,”。如遇连续序号可标注起讫序号。参考文献表按文章引用的先后顺序排列,序号用阿拉伯数字加方括号顶格书写,其后空一格书写著者。每条结尾处加标点“.”。

11 稿件请径寄编辑部,勿寄个人代转。请勿一稿多投,文责自负。

12 稿件请自留底稿,自投稿之日起,4个月内未接到刊用通知者可改寄他刊。

13 本刊印刷本出版的同时亦被中国期刊网、万方数据期刊群网、维普资讯网、超星期刊域出版平台等在网上传播。稿件一经刊出,每千字付稿酬20元(含电子版、网络版稿酬,如不同意在网上传播的稿件,请预先声明),并赠送2本《山西地震》致谢,若需自费增寄,请提前函告。

14 本刊电子信箱,E-mail:sxdzbjb@163.com。

谢谢合作!

《山西地震》编辑部